

# HULEVESIEN PUHDISTAMISEEN KÄYTETTÄVÄT SUODATINMENETELMÄT

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Insinööri  
Energia- ja ympäristötekniikka  
Kevät 2019  
Ari-Pekka Mörttinen

## Tiivistelmä

Tekijä(t) Mörttinen, Ari-Pekka	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 70	Valmistumisaika Kevät 2019
Työn nimi <b>Hulevesien puhdistamiseen käytettävät suodatinmenetelmät</b>		
Tutkinto Energia- ja ympäristötekniikka		
Tiivistelmä <p>Hulevesien määrä ja haitta-ainepitoisuudet ovat lisääntyneet kaupungistumisen myötä. Kaupunkiympäristössä hulevedet johdetaan hulevesiviemäreiden kautta vesistöön, imeytettäväksi suoraan maaperään tai vaihtoehtoisesti jätevedenkäsittelylaitokselle. Se ei kuitenkaan ole suositeltavaa, sillä jatkuva hulevesien johtaminen pois muodostumisalueelta aiheuttaa lisääntyneitä tulvariskejä sekä haitta-aineiden kulkeutumista pohjavesiin ja vesistöihin. Tärkeää on pyrkiä suunnittelemaan hulevesien hallintamenetelmät niin, että niiden muodostuminen olisi hyvin vähäistä ja samalla parannetaan niiden laatua ennen pohjavesiin ja vesistöihin pääsyä.</p> <p>Tarkastelukohteina opinnäytetyössä oli hulevesien nykyiset hallintamenetelmät ja hulevesien suodattamiseen soveltuvat suodatinmateriaalit. Opinnäytetyö toteutettiin kirjallisuusselvityksenä hyödyntämällä useita tutkimuslähteitä ja haastattelemalla kolmea hulevesiasiantuntijaa.</p> <p>Opinnäytetyössä tarkastelukohteina olivat hulevesien nykyiset hallintamenetelmät. Tarkempaan tarkasteluun otettiin hulevesien hallintamenetelmistä biosuodattimet ja niissä käytetyt erilaiset suodatinmateriaalit. Suodatinmateriaaleja tarkasteltiin hyödyntämällä ennestään toteutettuja tutkimuksia Ruotsissa ja Saksassa. Tutkimuksien tarkastelun myötä selvisi, että tehokkaimpia suodatinmateriaaleja tutkimuksien mukaan olivat turve, Blueguard® 63, rakeinen aktiivihili, kuusen- ja männyn kaarna sekä kei-notekoinen zeoliitti. Eniten mielenkiintoa herättäneistä materiaaleista oli kuusen- ja männyn kaarna, jotka ovat puuteollisuudessa syntyvä sivutuote. Se tosin vaatii lisätutkimuksia, sillä kuusen- ja männyn kaarnan vapauttaman tanniinin aiheuttama happamoituminen lisää raskasmetallien liukoisuutta.</p>		
Asiasanat Hulevesien hallintamenetelmät, haitta-aineet, biosuodattaminen, adsorptio, ioninvaihto, suodatinmateriaali, raskasmetallit, ravintoaineet, desorptio		

## Abstract

Author(s) Mörttinen, Ari-Pekka	Type of publication Bachelor's thesis	Published Spring 2019
	Number of pages 70	
Title of publication <b>Filtering methods used for stormwater</b>		
Name of Degree Bachelor's Degree Programme in Energy and Environmental Engineering		
Abstract <p>The amount of stormwater and the contaminants in them have risen through urbanization. In an urban environment stormwater is being led through a storm sewer to the water systems, infiltrated to the ground or alternatively led to a waste water treatment plant. Nowadays it is not recommended, because continuous transport of storm water away from their formation area causes increased flood risks and also increased transportation of contaminants to the groundwater and the water systems. It is important to try to design the stormwater management systems so that the stormwater formation stays small and at the same time improves its quality prior to letting them to the groundwater and water systems.</p> <p>The subject of the thesis was the current management methods of stormwater and filter material suitable for stormwater filtration. The thesis was carried out as a literature review by utilizing several research sources and by interviewing three stormwater experts.</p> <p>In the thesis, the current stormwater management methods were examined. However bio filtration and the filtration materials used in the filtration were in more detailed examination. Filter materials were examined by utilizing previously conducted studies. The examinations revealed that the most efficient filtration materials were turf, Blueguard® 63, granular activated carbon, spruce and pine bark and also artificial zeolite. The most interesting material of them however was the spruce and pine bark, which is a by-product generated by the wood industry. However it requires further research as the spruce and pine bark is capable of acidifying the stormwater by tannin which increases the solubility of heavy metals.</p>		
Keywords Stormwater management, contaminants, biofiltration, adsorption, ion exchange, filter material, heavy metals, nutrients, desorption		

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	1
2	HULEVESIEN MUODOSTUMINEN .....	2
2.1	Sadanta ja sulamisvedet .....	2
2.2	Hulevesien määrä ja haitta-aineet .....	4
2.3	Pohjavesi ja vesistövaikutukset .....	6
3	HULEVESIEN HALLINTAMENETELMÄT .....	9
3.1	Lainsäädäntö .....	9
3.2	Johdattaminen .....	9
3.2.1	Kourut, kanavat ja uomat .....	11
3.2.2	Avo-ojat ja painanteet .....	13
3.3	Viivyttäminen .....	15
3.3.1	Lammikot ja kosteikot .....	16
3.3.2	Rakennetut altaat, viivytysojain ja -kaivannot .....	18
3.4	Vähentäminen .....	19
3.4.1	Vettä läpäisevät päällysteet .....	20
3.4.2	Kasvillisuus ja viherkatot .....	22
3.5	Suodattaminen .....	23
3.5.1	Imeytyskaivanto ja -painanne .....	24
3.5.2	Suodatinkaivo .....	27
3.5.3	Kaivosuodatin .....	27
3.5.4	Öljynerotin .....	30
3.6	Hallintamenetelmien yhteenveto .....	30
4	SUODATINMATERIAALIT JA NIILLÄ TOTEUTETUT TUTKIMUKSET .....	33
4.1	Raskasmetallien pidättäminen .....	33
4.2	Ravinteiden poistaminen .....	34
4.3	Raskasmetallien pidättäminen hulevesistä, Ruotsi .....	35
4.3.1	Suodatinmateriaalit .....	38
4.3.2	Tulokset .....	42
4.4	Raskasmetallien poistaminen moottoriteiden hulevesistä, Saksa .....	45
4.4.1	Suodatinmateriaalit .....	48
4.4.2	Tulokset .....	51
4.5	Suodatinmateriaalien tehokkuus ja loppusijoittaminen .....	55
5	BIOSUODATTIMEN SUUNNITTELU JA KUNNOSSAPITO .....	57

5.1	Aluevaatimukset .....	57
5.2	Rakenne .....	57
5.3	Kunnossapitäminen .....	58
6	YHTEENVETO .....	60
	LÄHTEET .....	61
	LIITTEET .....	68

## 1 JOHDANTO

Pintavalunnan määrä on lisääntynyt kaupungistumisen myötä, mikä tarkoittaa myös hulevesimäärien lisääntymistä ja niissä olevien haitta-ainepitoisuuksien kasvua. Haitta-aineilla hulevesissä tarkoitetaan kiintoainesta, ravinteita, raskasmetalleja sekä erilaisia orgaanisia yhdisteitä ja bakteereja. Näin ollen pohjavesien ja vesistöjen pilaantumiskahva on lisääntynyt. Näin ollen on tärkeää tutkia uudenlaisia menetelmiä vaikuttaa hulevesien laatuun.

Normaalisti maanpinnalle muodostuneet hulevedet imeytetään maaperään, jossa maaines suodattaa niiden sisältämät haitta-aineet. Tarkemmin tarkasteltuna on kuitenkin tullut ilmi, että pohjavesien ja vesistöjen puhtaana pitämiseksi maaperän kyky suodattaa ei olekaan enää riittävä suurimpien haitta-ainepitoisuuksien osalta. Esimerkiksi on huomattu, että Lahdessa hulevesien mukana kulkeutuva fosfori on noin kolmasosa Vesijärven Enonselkään päätyvästä fosforipitoisuudesta, minkä takia Lahden Rantakartanon alueella on ryhdytty tutkimaan erilaisten suodatinmateriaalien toimivuutta alueella syntyvien hulevesien laadunparantamiseksi. (Järveläinen 2017.)

Opinnäytetyössä käsitellään erilaisten hulevesien hallintamenetelmien toimintaa ja soveltuvuutta sekä tarkastellaan erilaisten suodatinmateriaalien toimivuutta hulevesien laadunparantamisessa. Pääasiassa tutkimuskohteena on erilaisten materiaalien kyky pidättää hulevesissä olevia raskasmetalleja. Suodatinmateriaalien tutkimukset perustuvat Ruotsissa sekä Saksassa tehtyihin kokeisiin, joissa tutkittiin yhteensä 24 suodatinmateriaalin kykyä pidättää raskasmetalleja. Molempien tutkimuksien menetelmät poikkeavat toisistaan, mikä aiheuttaa pieniä vaikeuksia tuloksien vertailun osalta. Tarkoituksena on kuitenkin löytää varteenotettavia materiaaleja hulevesien suodattamiseen, joilla voidaan myöhemmässä vaiheessa tehdä jatkotutkimuksia lopullisen suodatustehokkuuden varmistamiseksi.

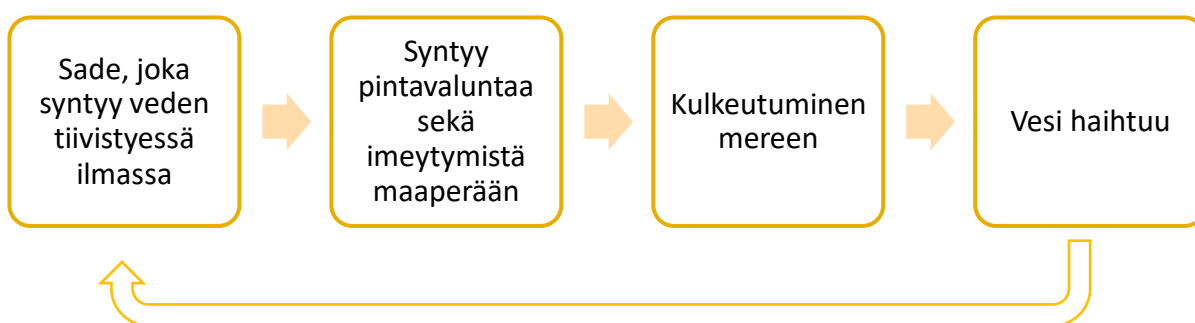
Tämä opinnäytetyö on toteutettu yhteistyössä Uponorin kanssa. Työ on pääasiassa kirjallisuuskatsaus eli opinnäytetyössä tarkasteltuja asioita on tutkittu hyödyntämällä useita erikirjallisuus- sekä internetlähteitä. Työtä varten on myös haastateltu kolmea hulevesiasiantuntijaa.

## 2 HULEVESIEN MUODOSTUMINEN

### 2.1 Sadanta ja sulamisvedet

Kaupungistuminen on lisääntynyt ympäri maailmaa, ja nykyiset kaupungit jatkavat kasvuaan. Kaupungistumisella tarkoitetaan muuttoliikenteen suuntautumista maalta kasvukeskuksiin eli kaupunkeihin, joissa lisääntyneiden ihmismäärien vuoksi rakennetaan lisää asuntoja ja lisätään erilaisten palveluiden määrää. (Peda 2018.) Kaupungistumista pidetään tärkeänä vaikuttajana sateiden lisääntyneisyyteen. Kaupungistumisen myötä sateiden määrä on lisääntynyt noin 10 % verran, mikä selittyy kaupunkien aiheuttamilla ilmapölynteillä, kohonneilla lämpötiloilla sekä lisääntyneillä ilmanvälityksellä liikkuvilla pölypartikkeleilla. Kaupungistumisen oman vaikutuksen lisäksi sadannan on tutkittu lisääntyvän kasvihuoneilmaston vuoksi. (Kuntaliitto 2012, 18, 98.)

Luonnonmukaisissa tilanteissa sateen aikainen vesi pääsee esteettömästi kulkeutumaan maaperään, jossa se imeytyy ja kulkeutuu pohjavesiin sekä vesistöihin. Haihdunnan myötä vesi kulkeutuu ilman kautta ja uudelleen sateiden myötä maahan eli veden hydrologinen kierto alkaa alusta. Hydrologinen kierto voidaan nähdä kuvioista 1. Veden normaali hydrologinen kierto ei kuitenkaan päde kaupungistuneilla alueilla. Luonnonmukaisilla alueilla on paljon kasvustoa ja huokoista maaperää, joista vesi pääsee haihtumaan takaisin ilmaan. Kaupungeissa tämä ei kuitenkaan ole mahdollista vettä läpäisemättömien pintojen eli asfaltin sekä betonin vuoksi. Pohjavesivarat pääsevät myös näin ollen kuihtumaan vähentyneen kasvillisuuden takia. (Kuntaliitto 2012, 18.)



KUVIO 1. Veden hydrologinen kierto pelkistetyksi (Lindström 2015)

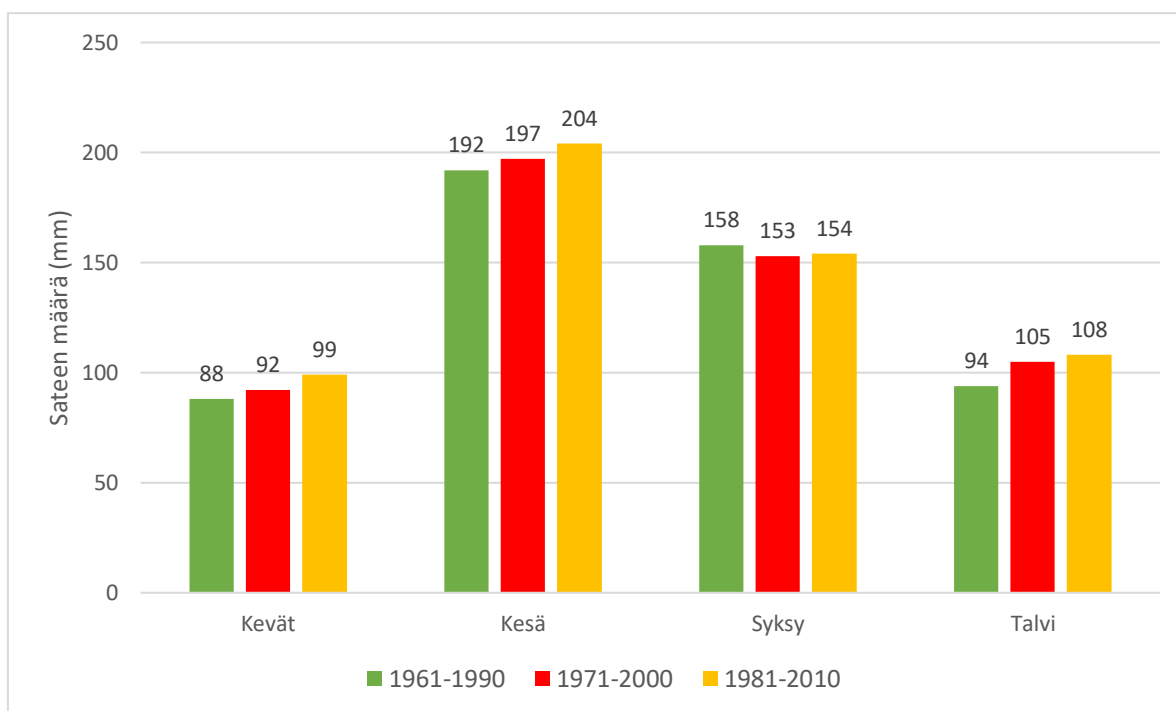
Kaupungistumisen myötä päällystettyjen pintojen määrän kasvaminen lisää pintavaluntaa. Sateiden ja pintavalunnan suhdetta käsitellään valuntakertoimella, jonka arvo on nolla, jos satanut vesi imeytyy suoraan maaperään. Etelä-Ruotsissa teetetyt tutkimuksen mukaan

on todettu, että kaupungistuneilla alueilla haihdunta ja imeytyminen ovat 30 % vähäisempää kaupunkien ympäröivien maaseutualueiden haihdunnan määrään verrattaessa. Vähäisempi haihdunta tarkoittaa, että pintavalunta on arvioiltaan noin 30 % suurempaa kaupunkialueilla, jos ei huomioida satunnaista haihduntaa ja rakoiluja vettä läpäisemättömissä pinnoitteissa. Kanadassa teetetyn tutkimuksen mukaan tutkimusalueella pintavalunta oli ennen kaupungistumista 10 % ja jälkeen kaupungistumisen 35 % sadannasta. Kanadassa teetetystä tutkimuksesta voidaan myös verrata Suomessa toteutettuun tutkimukseen nimeltä Kaupunkivedet ja niiden hallinta, jonka tuloksien mukaan pintavalunta oli tutkimusalueilla ennen kaupungistumista 7 - 22 % ja kaupungistumisen jälkeen 14 - 32 % sadannasta. (Kotola & Nurminen 2005, 12-14.) On siis selvää, että kaupungistumisen myötä pintavalunnan määrä on lisääntynyt vähentyneen haihdunnan ja imeytymisen myötä.

Pintavaluntatapahtumat eivät sijoitu pelkästään sulakauden sateisiin, vaan pintavaluntaa tapahtuu myös talvisin sateiden lisääntyessä ja lumien satunnaisesta sulamisesta. Sulakauden aikainen sadanta saattaa lisääntyä hiukan ilmaston lämmitessä, mutta on oletettavampaa, että sateet lisääntyvät varsinkin talvisin, mikä on selkeästi havaittavissa lämpötilojen kohotessa. Kuten alapuolella olevasta kuvioista 2 voi huomata, talviaikaisen sadannan määrä on selvästi kohonnut, kuin myös kevään ja kesän osalta. Ainoastaan syksyn osalta muutos on ollut pienempää. (Kuntaliitto 2012, 98.)

Lisääntyneiden sateiden lisäksi lumien sulaminen on tärkeää huomioida pintavalunnan osalta. Sulamistapahtuma ei kuitenkaan pääse vaikuttamaan aivan jokaisessa paikassa, sillä joistakin alueista lumi poistetaan auraamalla kokonaan. Toisaalta jossain paikoissa lumet kasataan, mikä aiheuttaa pintavalunnan muodostumisen kannalta epätasaisuuksia. Maaseutuihin verrattaessa kaupungeilla olevan lumen sulaminen alkaa yleensä aikaisemmin, johtuen suuremmista lämpötiloista ja sadannan lisääntyneisyydestä kaupunkialueilla. Erot lumien sulamisessa ei kuitenkaan tarkoita sitä, että maaseudulla tapahtuisi lumen sulamista vähemmän, kuin kaupungeissa. Tapahtumat ainoastaan sijoittuvat eri ajankohdille. Sulamisen maksimiarvo on lähes aina sama molemmilla alueilla. Lumien sulamisen yhteydessä syntyvä valunta on valtakunnallisten hulevesitutkimusten mukaan haitta-ainepitoisuudeltaan huonolaatuisempaa, kuin sulana kautena syntyneet hulevedet. Suurimaksi osaksi se johtuu lumen kyvystä pidättää lumihukkasiin haitta-aineita ilmasta. Lumen sitomat haitta-aineet pääsevät sulamishetkellä kulkeutumaan pintavalunnan mukana ympäristöön. Ainehuuhtouma voi sulamishetkellä olla jopa 5-79 % koko vuotuisesta ainehuuhtoumasta. (Kotola & Nurminen 2005, 16.)





KUVIO 2. Kausittaisen sadannan vaihtelu Suomessa. Luvut ovat keskiarvoja kolmen erimittauspisteen tuloksista (Ilmatieteenlaitos 2012)

Talvisin pelkästään lumien sulaminen sekä haitta-ainepitoisuudet eivät ole ainoita huomiioon otettavia asioita hulevesien osalta. Valumavesien osalta routiminen voi osoittautua ongelmaksi. Asfaltin ja betonin tapaan maanpinnan routautuminen saattaa aiheuttaa vettä läpäisemättömiä pintoja, jotka aiheuttavat paikoittain pintavalunnan muodostumista ja samalla saattaa estää erilaisten hulevesien hallintamenetelmien oikeanlaisen toimivuuden. Esimerkiksi vuosina 2017-2018 maanpinnan routapaksuus oli Hämeen alueella keskimäärin noin 0-40 cm (Ympäristö 2018). Maanpinnan jäätyminen ei kuitenkaan estä hallintamenetelmien toimintaa, jos routiminen otetaan kunnolla huomioon suunnitteluvaiheessa asennussyvyyden osalta. (Kuntaliitto 2012, 156.)

## 2.2 Hulevesien määrä ja haitta-aineet

Sadanta ja sulamisvedet osiossa käsiteltiin kaupungistumisen aiheuttamaa sadevesien maaperään imeytymisen estymistä. Se tapahtuu pääosin vettä läpäisemättömien pintojen takia, joita ovat esimerkiksi asfaltti ja betoni. Vettä läpäisemättömät pinnat aiheuttavat suurempia pintavaluntoja, mikä tarkoittaa virtaamahuippujen kasvua. Kovimmilla sateilla voi esimerkiksi esiintyä tulvia ja normaalin virtauksen aiheuttamaan eroosioon verrattessa nopeampaa eroosiota muun muassa uomissa ja ojissa. (Kotola & Nurminen 2003, 67.)

Sadannan aikainen pintavalunta huuhtoo mukanaan erilaisia haitta-aineita, jotka ovat läh-  
töisin kuiva- ja märkälasseumista. Samoin myös lumi sitoo itseensä ennen sulamista  
kuiva- ja märkälasseumana tulevia haitta-aineita, jotka pääsevät lumien sulaessa kulkeu-  
tumaan pintavalunnan mukana pohjavesiin ja vesistöihin. Kuivalasseumalla tarkoitetaan  
haitta-aineiden kulkeutumista sellaisenaan ilmanvirran välityksellä maanpinnalle, märkä-  
lasseuma toisaalta taas tarkoittaa sateiden mukana kulkeutumista. Kulkeutuessa suurem-  
mat partikkelit kulkeutuvat sellaisenaan painovoiman avulla maahan ja pienemmät sekä  
kevyemmät sitoutuvat ilmassa oleviin vesipisaroihin kulkeutuen niiden mukana maahan.  
(Motiva Oy 2003.) Yleisimpiä haitta-aineita hulevesissä ovat kiintoaines, ravinteet, raskas-  
metallit, kloridi, öljyt ja rasvat. Orgaaniset yhdisteet ja jotkin suolistoperäiset bakteerit kuu-  
luvat myös hulevesien haitta-aineisiin. Orgaanisiin yhdisteisiin lukeutuu PAH-yhdisteet eli  
polysykliset aromaattiset hiilivedyt sekä torjunta-aineet. (Kuntaliitto 2012, 124.)

Kaikkia haitta-aineita ei normaalisti havaita yhtäläisinä pitoisuuksina jokaisella mittausalu-  
eella, vaan ne ovat riippuvaisia alueella harjoitetusta toiminnasta. Esimerkiksi tehdasalu-  
eilla voidaan havaita normaalia korkeampia pitoisuuksia PAH-yhdisteiden ja raskasmetal-  
lien osalta. Korkeasti liikennöidyillä alueilla ajoneuvot levittävät monia erilaisia haitta-ai-  
neita pakokaasujen sekä rakenteellisten kulumisien takia ympäristöön. Suolistoperäiset  
bakteerit ovat yleisimmin lähtöisin jätevesiviemäreiden vuodoista sekä eläinten ulosteista.  
(Kuntaliitto 2012, 124.) Taulukosta 1 voidaan nähdä yleisimpiä hulevesien haitta-aineita ja  
niiden päästölähteitä luonnonmukaisilla sekä kaupungistuneilla alueilla. Opinnäytetyössä  
tarkastellaan erityisesti raskasmetallien puhdistamista hulevesistä osiossa suodatinmateri-  
aalit ja niillä toteutetut tutkimukset.

TAULUKKO 1. Hulevesissä olevien haitta-aineiden päästölähteitä (Kotola & Nurminen 2003)

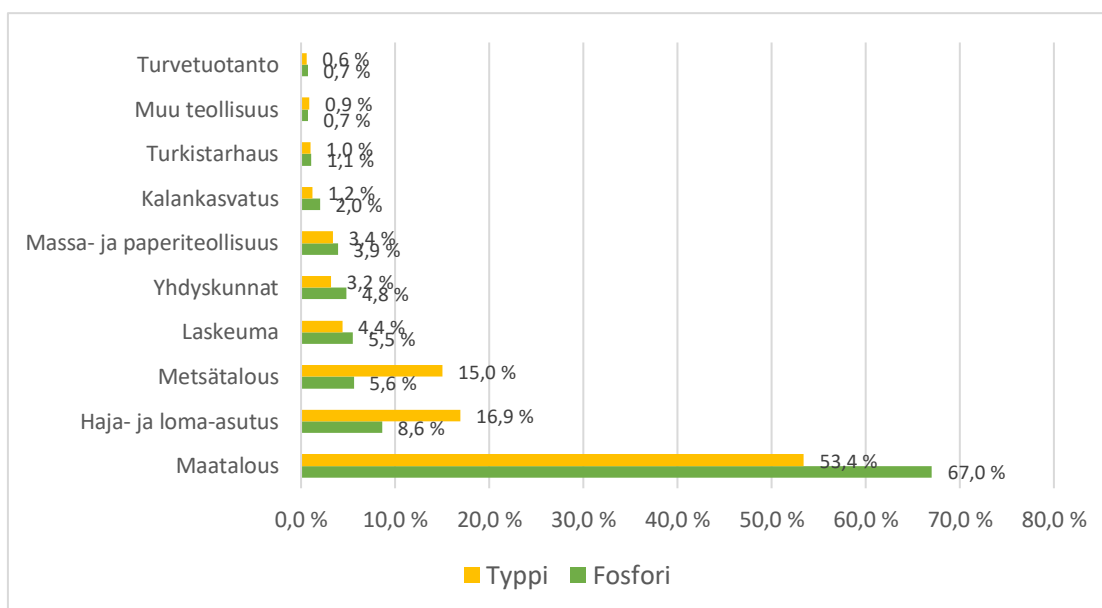
	<b>Lähde luonnonmukaisilla alueilla</b>	<b>Lähde kaupungistuneella alueella</b>
<b>Kiintoaines</b>	Uomaerosio	Rakennustyömaat, eroosio
<b>Orgaaniset yhdisteet</b>	Orgaanisten materiaalien hajoaminen	Voiteluaineet, kasviensuojelu- ja torjunta-aineet, lannoitteet
<b>Ravinteet</b>	Orgaanisten materiaalien hajoaminen	Orgaaniset yhdisteet ja roskat, lannoitteet, ruoantähteet ja jätevedet
<b>Raskasmetallit</b>	Mineraalien rappeutuminen	Autot, rakennusmateriaalit ja kemikaalit
<b>Kloridi</b>	Mineraalien rappeutuminen	Talviaikainen liukkauden torjunta
<b>Bakteerit</b>	Luonnossa elävät eläimet	Lemmikkieläimet, jätteet
<b>Öljyt</b>	Orgaanisten materiaalien hajoaminen	Autot

### 2.3 Pohjavesi ja vesistövaikutukset

Hulevesien kuljettamat haitta-aineet vaikuttavat pääosin pohjavesiin ja vesistöihin eli paikoihin, joihin pintavalunta kulkeutuu sateiden sekä sulamisvesien aikana. Lopulta pintavalunnan mukana kulkeutuneet haitta-aineet kulkeutuvat pohjavesiä ja vesistöjä pitkin mereen. Pintavalunnan määrästä ja niissä olevista haitta-aineista sekä niiden pitoisuuksista riippuen saattaa aiheutua pohjavesien ja vesistöjen pilaantumista. Normaalisti sateen aikainen maahan kertynyt vesi imeytyy maaperään ja kulkeutuu sieltä pohjavesiin tai kulkeutuu pintavaluntana suoraan vesistöihin. Nykyiseltään se ei kuitenkaan pääse imeytymään varsinkaan kaupunkialueilla vettä läpäisemättömien pintojen vuoksi maaperään, vaan se kulkeutuu maanpintaa pitkin, huuhtoen samalla haitta-aineita mukanaan. Vasta vettä läpäisevän pinnan kohdalla pintavalunta pääsee imeytymään maaperään ja sieltä pohjaveteen. Näin ollen lisääntyneet haitta-ainepitoisuudet voivat olla vaaraksi pohjavesille alueilla, joissa pintavalunta pääsee imeytymään maaperään liian ohuen maakerroksen läpi. Tämän vuoksi suuret haitta-ainepitoisuudet eivät sitoudu maa-ainekseen riittä-

västi, vaan kulkeutuvat sellaisenaan pohjavesiin. On myös huomioitavaa, että pohjavesialueita sijaitsee paikoilla, joissa on vettä läpäisemättömiä pintoja, kuten kaupunkialueilla. Näillä alueilla pohjaveden pinta saattaa ajoittain laskeutua ilman korvaavia vesimääriä. (Mäyränpää 2012, 57.) Kanadassa huomattiin, että ennen kaupungistumista tutkittavalla alueella sadannasta noin puolet eli 50 % kulkeutui pohjavesiin. Kaupungistumisen jälkeen pohjaveteen kulkeutui 32 % vettä sadannasta. (Kotola & Nurminen 2005, 16.)

Vesistöjen kuormitus voidaan jakaa kahteen erityyppiseen kuormitukseen, joita ovat piste- ja hajakuormitus. Hulevedet kuuluvat pääosin näistä jälkimmäiseen luokkaan eli hajakuormitukseen. Kuten edellä tuli ilmi, pintavalunta huuhtoo mukaansa haitta-aineita maanpinnalta ennen imeytymistä maaperään tai kulkeutumista vesistöön. Hajakuormitus tarkoittaaakin erilaisten haitta-aineiden kulkeutumista pintavalunnan välityksellä vesistöihin, tosin nimi juontuu tarkemmin sanottuna siitä, ettei tiettyä kuormituslähdeä voi tarkalleen paikantaa yhtä selkeästi kuin pistekuormituksen osalta. Pistekuormituksessa kuormituslähde on yleensä jokin yksittäinen kohde, kuten tehdas tai jätevedenpuhdistuslaitos, josta haitta-aineita kulkeutuu vesistöihin. Riittävä kuormitus vesistöissä aiheuttaa rehevöitymistä, jolloin niiden ravinnepitoisuus lisääntyy, lisäten samalla eliöstön ja kasvillisuuden määrää. Pahimmassa tapauksessa vesistön liiallinen ravinteikkuus saattaa aiheuttaa vesistöissä happikatoa. Selkeimpiä indikaattoreita vesistön rehevöitymisestä voidaan pitää kasvien ja levien sekä särkikalojen lisääntyneisyyttä. Suurimpia rehevöitymistä aiheuttavia aineita ovat typpi ja fosfori, joita kasvit hyödyntävät ravintoaineinaan. Ne pääsevät kulkeutumaan vesistöihin esimerkiksi pintavalunnan välityksellä. Kuviosta 3 voi nähdä typen ja fosforin keskimääräisen kuormituksen vesistöille erilaisista lähteistä. (Sarvilinna & Sammalkorpi 2010, 10-11.)



KUVIO 3. Erilaisten kuormituslähteiden aiheuttamat typpi ja fosfori kuormitukset vesistöille (Sarvilinna & Sammalkorpi 2010)

Raskasmetallien vaikutus vesistöön on ravinteisiin verrattuna hiukan erilainen. Koska raskasmetallit ovat alkuaineita, ne eivät koskaan voi kadota luonnosta vaan ne muuttavat ainoastaan muotoansa, siksi niillä on myös mahdollisuus kertyä eläinten ja ihmisten elimistöön. Haitallisimpia raskasmetalleja ovat elohopea, lyijy ja kadmium. Niillä on kyky kiinnittyä orgaanisiin ja epäorgaanisiin aineisiin ja hiukkasiin, joiden välityksellä ne voivat levitä ympäristöstä ihmisiin. Esimerkiksi kaloissa olevat raskasmetallit voivat kulkeutua ihmisiin kalastuksen välityksellä. (Lapin ELY-keskus 2018.) Ravinteiden ja raskasmetallien lisäksi pohjavedet ja vesistöt voivat saastua erilaisista torjunta-aineista sekä orgaanisista yhdisteistä ja bakteereista. Torjunta-aineet kulkeutuvat helposti karkeassa maaperässä. Ne kykenevät huuhtoutumaan helposti karkean maaperän läpi pohjaveteen sateiden aikana, jos niiden viipymä maaperässä on lyhyempi kuin niiden hajoamiseen tarvittava aika. Pohjavesiin pääsee bakteereja sekä viruksia helposti paikoissa, jossa pohjaveden pinta on hyvin lähellä maanpintaa. (Valtanen, Sillanpää, Hätinen ja Setälä 2010, 16-17.)

### 3 HULEVESIEN HALLINTAMENETELMÄT

#### 3.1 Lainsäädäntö

Hulevesien hallintaa pyritään tehostamaan ja selventämään erilaisien lakien avulla. Ideana hulevesien nykyisten hallintamenetelmien riittämättömyys puhdistustehokkuuden osalta on niin uusi, ettei sitä varten olen vielä tullut minkäänlaisia kunnollisia määräyksiä. Toisin on esimerkiksi jätevesien osalta haja-asutusalueilla. Haja-asutusalueella kiinteistö, joka on ilman kunnan viemärintiä, määrittään ympäristönsuojelulailla (527/2014) ja hajajätevesiasetuksella (157/2017), miten ja kuinka paljon missäkin täytyy jätevesiä puhdistaa ennen niiden laskemista luontoon. (Kuntaliitto 2017a.) Samantapaisten puhdistusmääräysten puute saattaa joissakin tapauksissa hankaloittaa nykyisten hulevesien hallintamenetelmien suunnittelua.

Viime vuosina on kuitenkin pyritty selventämään hulevesien huomioon ottamisen tärkeyttä ympäristönsuojelun osalta. Vuonna 2014 eduskunnassa hyväksyttiin lakimuutokset koskien maankäyttö- ja rakennuslakia (682/2014) sekä vesihuoltolakia (681/2014). Muutokset koskivat kunnan vastuuta hulevesien hallinnasta asemakaavoitusalueilla sekä kunnan mahdollisuutta vaikuttaa siihen, huolehtiiko vesihuoltolaitos hulevesien viemäroinnistä asemakaavoitusalueilla. (Kuntaliitto 2017b.) Maankäyttö- ja rakennuslain sekä vesihuoltolain lisäksi tärkeitä määräyksiä koskien hulevesien hallintaa on myös vesilaissa (587/2011), tulvariskilaissa (620/2010) ja ympäristönsuojelulaissa (1096/1996). Vesilain (587/2011) tarkoituksena on turvata vesistöjen tilaa silloin, kun vesivaroja tai vesiympäristöjä käytetään johonkin. Sen avulla pyritään siis vaikuttamaan veden ottamiseen, ojitamiseen sekä vesistöjen säännöstelyyn. Tulvariskilailla (620/2010) vaikutetaan vesistöjen, merien ja hulevesientulvariskien hallintaan suunnitteluvaiheessa. Ympäristönsuojelulailla (1096/1996) pyritään estämään ympäristön pilaantuminen lupamenettelyjen avulla, jos esimerkiksi hulevesien johdattaminen ojittamalla tai muulla hallintamenetelmällä saattaa aiheuttaa pilaantumista, tarvitaan siihen selvitys ja lupa. (Kuntaliitto 2012, 26-30.)

#### 3.2 Johdattaminen

Hulevesien hallintamenetelmien ensimmäinen osa ennen hulevesien käsittelemistä on johdattaminen haluttuun paikkaan. Johdattaminen tarkoittaa nimensä mukaisesti hulevesien ohjaamista niiden muodostumispaikalta halutulle sijainnille mahdollista jatkokäsittelyä varten. Johdatusmenetelmät voidaan jakaa kahteen osaan, joista ensimmäinen on putkijärjestelmät. Putkijärjestelmiin lukeutuu erilaiset maanalaiset johdattamismenetelmät, kuten hulevesiviemäroinnit ja salaojitukset. Putkijärjestelmät ovat tähän päivään saakka olleet yleisimpiä menetelmiä hulevesien hallinnan osalta. Pintajärjestelmät ovat avouoma

virtaukseen perustuvia avoimia järjestelmiä. Avouomavirtaukseen perustuvia järjestelmiä ovat kourut, kanavat, uomat, avo-ojat ja painanteet. Myös rumpujen käyttäminen luetaan pintajärjestelmäksi, sillä niiden avulla hulevedet voidaan johdattaa esimerkiksi esteiden ja katujen ali. (Kuntaliitto 2012, 157.)

Johdattamiseen käytettävillä hallintamenetelmillä on mahdollista myös viivyttää ja imeyttää hulevesiä, mikä tosin riippuu paljolti hallintamenetelmien rakenteellisista ominaisuuksista. Suurimmaksi osaksi luonnonmukaiset hallintamenetelmät kykenevät ominaisuuksiinsa riippuen viivyttämään ja imeyttämään hulevesiä. Toisaalta esimerkiksi betonikouruihin voidaan erikseen liittää viivyttäviä rakenteita. Näihin vaikuttavat ominaisuudet ovat hallintamenetelmän pituuskaltevuus, kokonaispituus sekä kasvillisuuden määrä. Pituuskaltevuus määrittelee huleveden virtausnopeuden. Pituuskaltevuuden ollessa sopivassa suhteessa johdatusmenetelmän kokonaispituuden kanssa, voidaan hulevesiä viivyttää. Viivyttämisen avulla hulevesissä olevat kiintoaineet kykenevät laskeutumaan pohjasedimentin sekaan, jolloin liiallinen virtaus ei pääse estämään niiden laskeutumista. Sopivalla kasvillisuuden määrällä voidaan parantaa hulevesien laatua, sillä kasvit sitovat siinä olevia ravinteita itseensä sekä viivyttävät hulevesiä. Johdattamismenetelmissä hulevesien imeytymisen tapahtuu, kun johdatusmenetelmän pohjalla on sopivan huokoista maa-ainesta. Imeytymisen tehokkuus paranee virtaaman pienentyessä. (Kuntaliitto 2012, 157.) Taulukossa 2 voi nähdä listan asioista, joita tulee ottaa huomioon johdatusmenetelmiä suunniteltaessa.

TAULUKKO 2. Johdatusmenetelmien suunnittelussa huomioitavia asioita (Kuntaliitto 2012)

<b>Huomioita johdatusmenetelmien suunnittelussa</b>	
Johdattamismenetelmiä ei ole tarkoitettu koko mitoitusvesimäärien viivyttämiseen, vaan hallittuun hulevesien johdattamiseen	Hulevedet voidaan ohjata johdattamismenetelmiin pintavaluntana tai esimerkiksi hulevesiviemäreiden ja salaojituksen välityksellä
Kasvillisuuden määrä johdattamismenetelmien varrella parantaa vedenlaatua sekä hidastaa virtaamaa eroosiota vähentäen	Pääosin pienet ja rakenteelliset hallintamenetelmät, kuten kourut on tarkoitettu pelkästään hulevesien johdattamiseen, ei imeyttämiseen tai viivyttämiseen
Talvikausien aikainen lumimäärä on otettava mitoituksessa huomioon katu- ja tontti-alueiden reunoille sijoittuvien painanteiden suunnittelussa (Leveys vähintään 2 cm)	Pieniä hulevesimääriä ei ole tarpeen mitoitaa hydrologisesti

### 3.2.1 Kourut, kanavat ja uomat

Kaupungeilla syntyy paljon pintavaluntaa, minkä takia on tärkeää suunnitella ja mitoittaa juuri oikeanlaiset vähän tilaa vievät johdattamismenetelmät. Siksi kaupunkien kaduilla syntyville pintavalunnoille soveltuu hyvin hulevesien johdattamiseen tarkoitettut betonista tai kivistä rakennetut kourut, jotka ovat esimerkiksi kuvan 1 mukaisia. Tyypillisimmät kourut ovat rakenteeltaan kapeita ja pyöreäpohjaisia. Betoniset kourut voidaan myös varustaa ritiläkansilla, jolloin niitä voidaan myös kutsua linjakouruiksi. Linjakourujen avulla voidaan varmistaa katujen pinnan mukainen tasaisuus. Kourut ovat yleensä kapeita ja matalia painanteita, joiden avulla voidaan kaduilla syntyvä pintavalunta koota yhteen paikkaan johdattamista varten. (Kuntaliitto 2012, 168.) Kourujen asennusta suunniteltaessa on tärkeää hyödyntää maanpinnan ja katujen mukaisia kaltevuuksia pintavaluntojen kerryttämisessä, jolloin virtaaman kulku on mahdollisimman tehokasta ja esteetöntä. Kouruja hyödyntämällä voidaan hulevedet johdattaa esimerkiksi istutus- tai viheralueiden kautta sadevesikaivoihin. (Häkkinen 2011, 72-73.)





KUVA 1. Kaupunkien katualueilla käytetty kouru (Siisti piha 2018)

Kanavat ovat useimmiten betonista tai kivistä valmistettuja hulevesien johdattamisreittejä, joiden leveys ja syvyys voivat vaihdella muutamista kymmenistä senttimetreistä useampiin metreihin. Kuvassa 2 on Malmössä sijaitseva kanava. Kanavien reunat ovat hyvin jyrkkäluiskaisia tai joissakin tapauksissa jopa pystysuoria. Poikkipinta-alansa ansiosta kanavat ovat tehokkaita hulevesien johdatusmenetelmiä. Kanavilla voidaan myös viivyttää hulevesiä patorakenteiden avulla. Kanavia voidaan käyttää kaupunkialueilla niiden pienten tilantarpeidensa ansiosta. (Kuntaliitto 2012, 164.)



KUVA 2. Malmössä sijaitseva hulevesikanava asuinalueella (Elo 2018)

Uomia on olemassa kahdenlaisia, rakennettuja sekä luonnonmukaisia. Kuvassa 3 on Longinojan alueella sijaitseva uoma. Rakennetut uomat ovat mutkittavia hulevesien kulureittejä, joihin liittyy levennyksiä, lampia, tulvatasanteita sekä paljon kasvillisuutta. Kyseessä on siis johdatusmenetelmä, jonka yhteyteen on mahdollista rakentaa muita hulevesien hallintamenetelmiä. Luonnossa esiintyviä uomia ei suositella muutettavan rakennettujen uomien tapaisiksi, jos kyseessä ei ole kulutuskestävyyden parantamiseen tarkoi-

tettu rakennemuutos. Uomat kykenevät tehokkaasti viivyttämään hulevesiä niiden runsaiden mutkien ja kasvillisuutensa ansiosta. Uomien rakenteisiin kohdistuva liiallinen eroosio voidaan välttää sopivalla pituuskaltevuudella, jonka tulee olla noin muutaman prosentin verran. Jos uoman reitillä on liian jyrkkiä kohtia lisäämässä virtaamaa, voidaan sitä hillitä asentamalla patoja tai kivetyksiä näille kohdille. (Kuntaliitto 2012, 164.)



KUVA 3. Longinojan alueella sijaitsevat uomat (Kettunen 2017)

### 3.2.2 Avo-ojat ja painanteet

Kaupunkien reuna-alueilla voidaan hulevesien johdattamiseen käyttää avo-ojia, joiden avulla voidaan helposti katujen kaltevuuksia hyödyntäen koota pintavalunta yhteen paikkaan johdattamista varten (Ahponen 2005, 66). Kuvassa 4 on pientaloalueella sijaitseva avo-oja. Ominaisuuksiltaan avo-ojat voivat olla hyvinkin monipuolisia. Pelkän johdattamisen lisäksi niillä voidaan myös viivyttää ja imeyttää hulevesiä, riippuen avo-ojan rakenteesta ja alla olevasta maaperästä. Esimerkiksi pohjan- ja luiskanmalli sekä kasvillisuuden määrä ovat merkittävimpiä tekijöitä viivyttämisen ja imeyttämisen osalta, sillä niiden avulla voidaan määritellä veden virtausnopeus. Toisaalta myös pituuskaltevuus vaikuttaa veden virtausnopeuteen. Avo-ojilla on myös hyvä tulvansietokyky suuren kokonsa ansiosta. Liian syvä ja jyrkkäluiskainen oja voi aiheuttaa sortumavaaroja, jos niitä ei ole eroosiosuojattu tarpeeksi hyvin. Avo-ojia käytetään monesti myös tonttialueiden kuivattamiseen. (Kuntaliitto 2012, 158.)



KUVA 4. Avo-oja pientaloalueella (Salo 2013)

Painanteet ovat käytännössä avo-ojia, mutta syvyydeltään matalampia sekä loivaluiskaisempia, kuten kuvassa 5 olevasta Mulden-Rigolessa sijaitsevasta painanteesta voi nähdä. Niiden pinta on pääasiassa verhoiltu joko nurmikolla tai kivetyksellä. Avo-ojien lailla painanteita ei suositella käytettäväksi tonttialueiden kuivatuksessa niiden pienemmän kokonsa vuoksi. Painanteita suositellaan ainoastaan käytettäväksi pintavalunnan johdattamiseen, vaikka niillä on avo-ojien lailla hulevesien laatuun vaikuttavia ominaisuuksia, kuten viivyttäminen ja imeyttäminen. Jotta voidaan varmistaa painanteiden oikeanlainen toiminta, tulisi niiden pituuskaltevuuden olla noin 1-3 %. Pituuskaltevuuden ollessa enemmän kuin 5 %, täytyy veden virtausta rajoittaa esimerkiksi padottamalla tai porrastamalla jyrkempiä maankohtia. Padottaessa ne tulisi varustaa purkuputkella, jolla varmistetaan viivytetyn veden kulkeutuminen. (Kuntaliitto 2012, 159.)



KUVA 5. Mulden-Rigolessa sijaitseva hulevesipainanne (Kajanus 2010)

### 3.3 Viivyttäminen

Hulevesien virtaama on joissakin tapauksissa liian nopeaa, kuten on jo tullut ilmi joidenkin hulevesien johdattamismenetelmien ohella. Liian suuret virtaamanopeudet aiheuttavat eroosiota ja samalla heikentävät hallintamenetelmien puhdistustehokkuutta sekä kasvattavat tulvariskiä. Näin ollen on tärkeää pyrkiä hallitsemaan hulevesien virtaamanopeuksia. Virtauksia hidastamalla varmistetaan myös kiintoaineen laskeutuminen, kasvien haitta-ainneiden sitominen sekä hulevesien imeytyminen maaperään. (Kuntaliitto 2012, 172.)

Viivytyksmenetelmät voidaan luokitella lammikkoihin, kosteikkoihin, viivytyspainanteisiin sekä rakennettuihin altaisiin ja -kaivantoihin. Painanteita voidaan käyttää niiden ominaisuuksiensa vuoksi myös viivyttämiseen hulevesien johdattamisen lisäksi. (Kuntaliitto 2012, 173, 177.) Taulukosta 3 voi nähdä viivytyksmenetelmien suunnittelun aikana huomioitavia asioita.

TAULUKKO 3. Viivytyksen menetelmien suunnittelussa huomioitavia asioita (Kuntaliitto 2012)

<b>Huomioita viivytyksen menetelmien suunnittelussa</b>	
Kosteikot ja lammikot voidaan käyttää suurien alueiden valumavesille, mitoituksella ei ole ylärajaa	Erilaisten tasausaltaiden ja kaivojen käyttö viivyttää hulevesiä vähentäen samalla kiintoaineen ja roskien kulkeutumista
Kaivannot ja rakennetut altaat suunnitellaan aina rakennettujen alueiden sisälle	Viivytyksen menetelmien huolto on otettava huomioon suunniteltaessa niiden sijoituspaikkaa
Hallintamenetelmät, joiden tarkoituksena on säilyttää pysyvä vesipinta, täytyy rakentaa vettä läpäisemättömille alueille	Rakennettujen alueiden sisällä viivytystilavuuden pitää tyhjentyä yhden vuorokauden kuluessa sadetapahtuman jälkeen
Kosteikkojen ja lammikoiden toimintaan kuuluu suuret kasvillisuusmäärät, jonka takia kasvillisuutta pitää istuttaa tarpeen tullen lisää	Viivytyksen menetelmät on aina varustettava ylivuotoputkella ja tyhjennysmekanismilla
Rakennetut altaat tarvitsevat muita viivytyksen menetelmiä enemmän kunnossapitoa	Kosteikkojen ja lammikkojen kohdalla ylivuotojen osalta täytyy olla tarkkoina, sillä vesimäärät voivat olla suuria

### 3.3.1 Lammikot ja kosteikot

Hulevesiä varten valmistetut lammikot toimivat viivyttävänä ratkaisuna, jotka voivat näyttää esimerkiksi kuvan 6 mukaisilta. Niillä voidaan pienentää hulevesien virtausnopeutta sekä parantaa vedenlaatua. Lammikoiden puhdistustehokkuus perustuu kasvillisuuden kykyyn sitoa haitta-aineita, kiintoaineen laskeuttamiseen sekä mikro-organismien kykyyn hajottaa vedessä olevia haitta-aineita. Lammikkojen viivytystilavuutta sekä siinä olevan veden purkautumisnopeutta säädellään savesta tai moreenista valmistetun padon avulla. Pato on varusteltava joko ylivuotoreunalla, purkuputkella tai purkukaivolla, joiden välityksellä viivytystilavuudessa oleva vesi pääsee kulkeutumaan lammikkoon. Purkuputken koko on oltava vähintään 200 mm halkaisijaltaan, jotta voidaan välttyä tukkeutumiselta. Purkukaivo voi rakenteeltaan olla monimutkaisempi, jolloin esimerkiksi sakkapesällä sekä esteillä voidaan suodattaa purkautuvasta vedestä roskia ja säätää vedenkorkeutta venttiileillä. Lam-

mikon viivytystilavuuden on purkauttava 1-2 vuorokauden kuluessa. Joissakin tapauksissa lammikot voivat kuivan kauden aikana kuivua kokonaan, mutta yleensä näin käy ainoastaan, jos lammikon vesisyvyys on alle metrin. (Kuntaliitto 2012, 173.)



KUVA 6. Minnesotassa sijaitseva lampi (Minnesota pollution control agency 2012)

Kosteikot ovat kasvillisuudeltaan monipuolisempia ja syvyydeltään matalampia lammikkoihin verrattaessa. Molemmat vaikuttavat hulevesien laatuun käytännössä samoin menetelmin. Ainoa eroavaisuus kosteikossa on tehokkaampi haitta-aineiden sidontakyky kasvien osalta niiden monipuolisuutensa ansiosta. Kuvassa 7 on esimerkki Jyväskylässä sijaitsevasta niukka kasvillisesta kosteikosta. Ominaisuuksiltaan kosteikkojen syvyys saattaa ajoittain olla hyvinkin vaihtelevaa, sillä syvyserojen avulla varmistetaan mahdollisimman hyvät kasvuolosuhteet kasveille. Keskisyvyydeltään kosteikot ovat noin kymmenien senttimetrien luokkaa. Sijainniltaan kosteikot ovat yleensä samassa yhteydessä avo-ojan tai uoman kanssa. Kuin myös lammikoissa, täytyy kosteikoissakin olla virtaamaa hidastava allas, josta vesi purkautuu sopivalla nopeudella kosteikkoon. Altaan tulee olla noin 10-15% kosteikon mitoitustilavuudesta. Toisaalta myös kosteikon loppupäähän on rakennettava allas ennen vesien purkautumista, johon liete pääsee kerääntymään. (Kuntaliitto 2012, 175.)



KUVA 7. Jyväskylässä sijaitseva kosteikko (Jyväskylä 2018)

### 3.3.2 Rakennetut altaat, viivytysoinanteet ja -kaivannot

Betonista ja kivistä valmistetut rakennetut altaat ovat nimensä mukaisesti täysin keinotekoisia, vaikkakin joissakin tapauksissa ne pyritään esteettisten syiden vuoksi rakentamaan lammikoiden näköiseksi. Kuvassa 8 on esimerkiksi Tampereella sijaitseva hulevesiallas. Ne on rakennettu vettä pitävästä materiaalista, jolla pyritään varmistumaan siitä, että niissä on aina vesipintaa jäljellä. Vesipinnan säilyttäminen onnistuu vuoraamalla altaiden pohja esimerkiksi muovikalvolla, savella, bentoniittimatolla tai verhoamalla ne kivilaatoilla. Altaiden veden pinta on silti yleensä matala, kymmenien senttimetrien luokkaa. Altaat tulee varustaa ylivuotoputkella, jotta sinne kertynyt vesi pääsee purkautumaan sekä tyhjennysputkella, jotta sinne on mahdollista päästä tekemään tarpeen tullen huoltotoimenpiteitä. (Kuntaliitto 2012, 174.)



KUVA 8. Tampereen Vuoresessa sijaitseva hulevesiallas (Vuores 2016)

Viivytysoinanteet on sijoitettava muuta ympäristöä alemmas, jotta hulevedet pääsevät pintavaluntana lammikoitumaan niihin. Kuvassa 9 on Ruskossa sijaitseva viivytysoi-

nanne, jossa on runsaasti kasvillisuutta. Verrattaessa aikaisemmin käsiteltyihin painanteisiin ja niiden imeyttämisen tehostamiseen, viivytyispainanteiden imeyttämistä ei pyritä tehostamaan. Hulevesien tyhjentymistä varten viivytyispainanteet varustellaan virtaamia säätelevillä rakenteilla, joilla tyhjenetään viivytystilavuus muutaman päivän kuluessa sadetapahtuman jälkeen. Purkuputkella hulevesi voidaan ohjata suoraan hulevesiviemäriin tai vaihtoehtoisesti voidaan rakentaa karkeasta maa-aineksesta pato, jonka läpi vesi suoutuu. Viivytyispainanteen toimivuuden osalta kasvillisuus ei ole välttämätöntä. (Kuntaliitto 2012, 177.)



KUVA 9. Ruskon alueella sijaitseva viivytyispainanne (FCG 2008)

Viivytyiskaivantoja käytetään alueilla, joissa tilaa ei ole riittävästi muille maanpäällisille ratkaisuille. Kaivantojen toiminta perustuu maanalla olevaan säiliöön, johon hulevesiä johdetaan. Säiliön avulla pyritään hidastamaan hulevesien virtaamaa laskemalla vesiä purkuputkella ulos tietyn vedenpinnan korkeuden saavuttaessa säiliön sisäpuolella. Kaivannot on varusteltava purkuputkien lisäksi salaojituksella. Yleisimpiä kaivannoissa käytettyjen säiliöiden materiaaleja ovat muovi, betoni ja teräs. (Kuntaliitto 2012, 177.)

### 3.4 Vähentäminen

Hulevesien vähentäminen tarkoittaa pintavalunnan muodostumisen estämistä. Näin ollen vähentämisellä pyritään ennallistamaan veden hydrologista kiertoa, jossa haihdunta sekä imeytyminen tapahtuvat ilman kaupungistumisen tuomia esteitä. Hulevesien vähentämisessä käytettävät menetelmät voivat olla rakenteellisia tai ei-rakenteellisia ratkaisuja. Rakenteellisiin ratkaisuihin kuuluu esimerkiksi erilaiset vettä läpäisevät päällysteet sekä kasvillisuuden lisääminen. Ei-rakenteelliset ratkaisut tarkoittavat esimerkiksi joitakin sovittuja



menetelmiä rakennussuunnittelun ohella. Ei-rakenteellisiin ratkaisuihin lukeutuu esimerkiksi maaperän vähäinen tasoittaminen ja kasvillisuuden paikoilleen jättäminen, joiden avulla hulevesien muodostuminen olisi mahdollisimman vähäistä. (Kuntaliitto 2012, 142.)

Oikeanlainen suunnittelu ja riittävät toimintatavat sekä ohjeistukset edesauttavat vähentämiseen käytettävien menetelmien tarpeellisuutta tulevaisuudessa. Vettä läpäisemättömien pintojen minimointi ja sopivalla suunnittelulla edesautetaan veden hydrologista kiertoa. Heti suunnitteluvaiheessa on otettava huomioon hulevedet ja niiden kulkeutuminen alueella. Rakentaessa olisi tärkeää jättää alkuperäinen kasvillisuus paikoilleen ja maata tulisi tiivistää mahdollisimman vähän sen huokoisuuden säilyttämiseksi, jotta voidaan varmistaa veden esteetön ja luonnollinen kierto. (Kuntaliitto 2012, 142.) Taulukossa 4 on muutamia hulevesien vähentämismenetelmien suunnittelussa huomioon otettavia asioita.

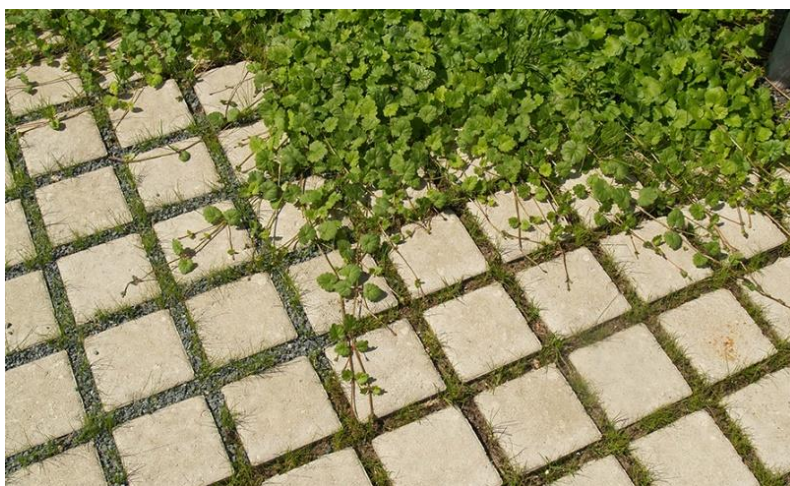
TAULUKKO 4. Vähentämismenetelmien suunnittelussa huomioitavia asioita (Kuntaliitto 2012)

<b>Huomioita vähentämismenetelmien suunnittelussa</b>	
Ennen imeytysjärjestelmän asentamista, maaperälle suositellaan imeytyskokeita vedenläpäisykyvyn varmistamiseksi	Imeytystä ei suositella alueille, joissa hulevesien mukana kulkeutuu suuria määriä haitta-aineita
Salaojitus on asennettava imeytysrakenteeseen, jos alapuolisen maaperän vedenläpäisy kyky on heikko tai on olemassa pohjavesien pilaantumisriski	Imeytyskerroksen pohjaosan tulisi olla routarajan alapuolella talvikauden aikaisen toiminnan varmistamiseksi tai järjestelmään tulisi asentaa salaojitus
Vettä läpäiseviä pintoja käytettäessä täytyy huolehtia, ettei hulevesien mukana kulkeudu kiintoaineksia tai roskia	Imeytysmenetelmien liiallinen kuormitus pitää huomioida niin, ettei yhden järjestelmän mitoitusvesimäärä kasva liian suureksi
Imeytystä varten rakenteen alapuolisen pohjamaan on oltava karkeaa silttiä tai hiekkaa	Imeytysjärjestelmän tulisi tyhjentyä vedestä kahdessa vuorokaudessa, jotta se kykenee vastaanottamaan seuraavan sadetapahtuman aikaiset hulevedet

### 3.4.1 Vettä läpäisevät päällysteet

Hulevesien vähentämistä niiden muodostumisalueilla voidaan tehostaa käyttämällä vettä läpäiseviä päällysteitä. Päällysteinä toimivat esimerkiksi reiälliset betonilaatat, harvaan

asetettu kivetys tai vettä läpäisevä avoin asfaltti. Kuvassa 10 on esimerkki hulevesien imeytymistä varten harvaan asetetusta kivityksestä. Pelkästään vettä läpäisevien päällysteiden avulla ei voida juurikaan vaikuttaa hulevesien laatuun, sillä niiden toimintaperiaate perustuu lähinnä veden läpäisemiseen. Läpäisevien materiaalien alapuolella sijaitseva maa-aines voi mahdollisesti parantaa hulevesien laatua, riippuen maa-aineksen paksuudesta ja ominaisuuksista. Sen vuoksi vettä läpäiseviä päällysteitä ei suositella käytettäväksi kaikista saasteisimmilla alueilla, sillä hulevedessä olevat haitta-aineet voivat kulkeutua pohjavesiin saakka vaikuttaen pohjaveden laatuun. (Kuntaliitto 2012, 144.) Hulevesien kulkeutuminen ei kuitenkaan tarkoita, ettei vettä läpäiseviä pintoja voida soveltaa hulevesien laadun parantamisessa. Esimerkiksi vettä läpäisevän pinnan alapuolelle voidaan sijoittaa karkean maa-aineksen lisäksi suodatinkangas, joka kykenee pidättämään huleveissä olevia kiintoaineita sekä muita haitta-aineita itseensä. Veden kulkeutuminen pohjavesiin voidaan myös minimoida asentamalla päällysteen ja karkean maa-aineksen alapuolelle salaojakerros, jolla vedet voidaan tarpeen tulle johdattaa pois pohjavesialueelta. (Ahponen 2005, 68.)



KUVA 10. Harvaan asetetulla kivityksellä toteutettu hulevesien vähentämismenetelmä (Maisemabetoni 2018)

### 3.4.2 Kasvillisuus ja viherkatot

Kuten aikaisemmissa opinnäytetyön osioissa on tullut ilmi, kasvit kykenevät poistamaan hulevesistä haitta-aineita omaan käyttöönsä ja niiden avulla voidaan myös tehostaa veden haihtumista. Kasveilla on kaksi menetelmää, joilla ne kykenevät sitomaan vettä itseensä. Menetelmiä kutsutaan interseptioksi sekä transpiraatioksi. Interseptiossa sateen aikana muodostunut vesi pidättyy kasvien pinnoille, joista se pääsee haihtumaan ilmaan. Transpiraatiossa vesi siirtyy maaperästä juuria pitkin kasviin kuljettaen samalla haitta-aineita mukansa. Lopuksi vesi pääsee haihtumaan kasvin kautta ilmaan. Haihduttamisen sekä haitta-aineiden sidontakykyjen lisäksi kasvien juuristo pitää maaperän maa-aineksen huokoisena, jolloin vesi kykenee imeytymään maaperään tehokkaammin. (Kuntaliitto 2012, 142, 227-228.) Kaikenlaiset kasvit eivät kuitenkaan sovellu yhtä hyvin hulevesien hallintaan kuin toiset. Välillä on kuivia jaksoja sekä toisaalta taas hyvinkin kosteita, joten kasvien on pärjättävä vaihtelevissa olosuhteissa. Myös kasvien haitta-aineiden sietokyky on tärkeää ja on muistettava, ettei huleveden laatu saa ainakaan huonontua kasvillisuutta hyödyntäessä. (Häkkinen 2011, 110-111.)

Kasvillisuutta voidaan hyödyntää maaperän lisäksi myös kattorakenteissa, joita tällöin kutsutaan viherkatoiksi. Kuvassa 11 on Vantaan asuntomessuilla esillä ollut talo viherkatolla. Viherkattojen avulla hulevesien muodostumista voidaan vähentää hyödyntämällä edellä mainittua kasvien kykyä haihduttaa niihin sitoutunutta vettä, jolloin pintavalunnan muodostuminen viherkatollisilla alueilla on vähäisempää. Tällöin hulevesien johdattamista ei välttämättä tarvita alueella ollenkaan. Viherkattojen rakenne koostuu vettä läpäisemättömästä ja johtavasta kerroksesta sekä erillisestä maakerroksesta tai kasvimatosta. Viherkatolle sopivia kasveja ovat erilaiset sammallajit sekä maksaruohot, jotka pärjäävät ohuilla kasvukerroksilla pienikokoisten juuriensa ansiosta. Viherkattoja suunniteltaessa on otettava huomioon kasvien erilaisten olosuhteiden kestävyys sekä niiden vedenpidätyskyky, kuten yleisestikin kasveja hyödyntäessä hulevesien hallinnan osalta. (Ahponen 2005, 67.) Viherkattojen kaltevuudeksi suositellaan noin 0-27 °, jolla voidaan varmistaa vedelle sopiva virtausnopeus (Kuntaliitto 2012, 227).



KUVA 11. Vantaan asuntomessujen viherkatollisia asuntoja (Suomen asuntomessut 2015)

### 3.5 Suodattaminen

Hulevesien haitta-aineiden poistaminen voidaan toteuttaa suodattamalla, jossa hulevesi johdetaan suodatinmateriaalina toimivan väliaineen läpi ennen maahan imeyttämistä tai kuljettamista salaojaputkistolla pois valuma-alueelta. Suodatinmateriaalin tehtävänä on pitää hulevesissä olevia haitta-aineita itseensä, jotta ne eivät kulkeutuisi hulevesien mukana pohjavesiin tai vesistöihin. Suodattimilla voidaan vaikuttaa hulevesien virtaamaan rakentamalla erikseen viivytystiljoja ennen suodatinta, jolla voidaan varmistaa tasainen veden virtaama ja näin ollen paras mahdollinen suodatustehokkuus. Suodattaminen ja imeyttäminen eroavat teoriassa toisistaan sillä, että suodattuessa vesi ei imeydy suoraan maaperään vaan kulkeutuu salaojaputkilla toisaalle. Imeytyksessä vesi kulkeutuu maakerroksen läpi maaperään ilman pois johdattamista salaojaputkistolla. (Kuntaliitto 2012, 184.)

Yksinkertaisimmillaan suodattimena toimii esimerkiksi painanteet, joihin pintavalunta kulkeutuu samalla imeytyen painanteessa olevan maakerroksen läpi. Näin ollen imeytymistä tapahtuu missä vain, jos maaperä on tarpeeksi huokoista veden läpäisyä varten. On kuitenkin tärkeää muistaa, että joillakin alueilla hulevesien imeytyminen maaperän läpi ei ole tarpeeksi tehokasta ilman lisämenettelyjä. (Kuntaliitto 2012, 184.) Taulukossa 5 on muutamia suodatinmenetelmien suunnittelussa huomioon otettavia asioita.

TAULUKKO 5. Suodatinmenetelmien suunnittelussa huomioitavia asioita (Kuntaliitto 2012)

<b>Huomioita suodatinmenetelmien suunnittelussa</b>	
Suodattimen sijoittaminen on toteutettava hajautetusti, jotta voidaan välttyä yksittäisen järjestelmän liialliselta kuormitukselta	Suodattimen valuma-alueen tulee olla enintään kahden hehtaarin kokoinen, mutta suositus on alle yhden hehtaarin kokoinen
Maaperän vedenläpäisykyvyllä ei ole tarkkoja rajoja, jos vesiä ei ole tarkoituksena imeyttää maaperään	Suodattimen voi asentaa pohjavesialueelle, jos se on eristetty muusta maaperästä niin ettei vesi pääse kulkeutumaan pohjaveteen
Suodattimen tyhjentymisen tulee kestää enimmillään 48 tuntia	Suodattimeen kulkeutuva vesi vaatii esikäsittelyn tukkivan kiintoaineksen poistamiseksi

### 3.5.1 Imeytyskaivanto ja -painanne

Imeyttämistä pidetään ensisijaisena menetelmänä ehkäistä hulevesien muodostumista. Se on myös tehokas menetelmä lisätä pohjaveden määrän muodostumista, jota ei rakennetuilla alueilla pääse kunnolla muodostumaan vettä läpäisemättömien pintojen vuoksi. (Kuntaliitto 2012, 146.) Imeyttämisen avulla hulevedet yritetään saada suoraan kosketuksiin maaperän kanssa, jossa haitta-aineet pidätyvät. Varsinkin hyvin savinen ja humuspiainen maaperä pidättää tehokkaasti haitta-aineita. Savimineraaleilla ja humuksella on kyky sitoa esimerkiksi raskasmetalleja hulevesistä tehokkaasti hyödyntämällä kationinvaihtomekanismia. (Ahponen 2005, 66.) Kationinvaihtoa käsitellään tarkemmin suodatinmateriaalit ja niillä toteutetut tutkimukset osiossa.

Suunniteltaessa hulevesien imeyttämistä on tärkeää muistaa liittää imeytysrakenteisiin esimerkiksi tasausallas tai kasvillisuudella peitetty pintavaluntakaista, joiden avulla mahdolliset imeytysrakenteen tukkivat kiintoaineet voidaan poistaa ennen hulevesien imeyttämistä. Imeytyskaivannot tulee myös varustella ylivuotoreitillä, joilla varmistetaan hulevesien hallittu johdattaminen mitoitusvirtaaman ylittyessä. Imeytyskaivantoja on kahdenlaisia, avoimia- ja maanalaisia kaivantoja. Avoimet imeytyskaivannot ovat nimensä mukaisesti kaivantoja, jotka on täytetty karkealla maa-aineksella. Kuvassa 12 on esimerkki avoimesta imeytyskaivannosta. Maa-aines on tärkeää eristää suodatinkankaalla tai siirtymäkerroksella alapuolella olevasta maa-aineksesta, jotta yläpuolella oleva hienojakoinen maa-aines ei pääse tukkimaan imeytyskaivannon alempia rakenteita. Avoin imeytyskaivanto toimii tehokkaasti esimerkiksi keskitettynä imeytysmenetelmänä, johon voidaan

johdattaa hulevesiä laajoilta valuma-alueilta ja se soveltuu hyvin muiden hulevesien hallintamenetelmien kanssa samaan yhteyteen. (Kuntaliitto 2012, 147-148.)



KUVA 12. Avonainen imeytyskaivanto (Uuramo 2018)

Toisin kuin avoin imeytyskaivanto, maanlaisen imeytyskaivannon toiminnalliset osat sijaitsevat maanalla. Imeytyskaivantoja on olemassa omakotitaloille tarkoitettujen betonirenkaista valmistettujen imeytysrakenteiden lisäksi hulevesikasetteja, joita voidaan käyttää isompien rakennuksien katoilla ja parkkipaikoilla muodostuville hulevesille. Kuvassa 13 on Uponorin hulevesikaseteilla rakenteilla oleva imeytyskaivanto, jonka ympärille kääritään suodatinkangas ennen peittämistä. Pienemmät imeytyskaivannot kykenevät säilömään hulevesiä noin 20-30 % verran kokonaistilavuudestaan, johtuen täyttemaan huokostilavuudesta. Hulevesikasetit toisaalta voivat parhaimmillaan varastoida vettä enemmän kuin 90 % kokonaistilavuudestaan. Hulevesiviemäriin kytketyt imeytyskaivannot tulee varustella ohivirtausjärjestelmällä sekä hiekan- ja öljynerotuskaivoilla. (Kuntaliitto 2012, 148-149.)



KUVA 13. Hulevesikasettien ympärille kiedotaan suodatinkangas ennen peittämistä (Uponor 2012)

Hulevesien johdattamiseen käytettävien painanteiden lisäksi on olemassa imeytyspainanteita, joiden avulla sateen aikainen pintavalunta lammikoituu painanteeseen, josta se imeytyy maaperään. Imeytyspainanteita kutsutaan myös biopidätys- tai biosuodatusalueiksi tai vaihtoehtoisesti sadepuutarhoiksi eli englanniksi rain gardeniksi. Imeytyspainanteiden päätehtävänä on viivyttää ja poistaa haitta-aineita kasvillisuuden sekä alapuolisen maaperän avulla, jota kutsutaan myös suodatinmateriaaliksi. (Kasvio, Ulvi, Koskiahho & Jormola 2016, 18-20.)

Imeytyspainanteet ovat kasvillisuuden peittämiä ja muuta ympäristöä alempana olevia alueita, joissa on tilaa vesien viivyttämiseksi. Kuvassa 14 on runsaan kasvillisuuden peittämä imeytyspainanne. Viivytyksaika ja tilavuutta voidaan säädellä esimerkiksi hulevesiviemäriin liitettävällä reiällisellä purkuputkella tai maanpäälle rakennetulla padolla. Imeytyspainanteelle suositellaan noin parin hehtaarin valuma-alueita, jotta viivytystilavuus tyhjenee sopivalla nopeudella. Hulevesien imeytyminen voidaan huonosti vettä imevän maaperän osalta varmistaa lisäämällä salaojakerros imeytyspainanteeseen tai vaihtamalla maaperän massa huokoisempaan. Rakennekerrokset voidaan eristää muusta maaperästä hyödyntämällä suodatinkangasta tai imeytyspainanne voidaan muuttaa kokonaan pelkäksi suodattimeksi eristämällä se muusta maaperästä. Tässä tapauksessa hulevedet suodatetaan ja kuljetetaan muualle imeytykseen. Varsinkin erittäin haitta-ainepitoisten hulevesien osalta on suositeltavaa hyödyntää täysin muusta ympäristöstä eristettyä suodatinta. (Kuntaliitto 2012, 151.) Suodatinmateriaalina on yleisimmin käytetty hiekkaa, mutta nykyään erilaisilla tutkimuksilla on pyritty selvittämään muiden vaihtoehtoisten materiaalien tehokkuutta suodattamisessa, kuten esimerkiksi aktiivihieiltä (Kasvio ym. 2016, 20).



KUVA 14. Imeytyspainanne, jossa hulevesi suodattuu ja imeytyy maaperään tai vaihtoehtoisesti kulkeutuu hulevesiviemäriin (SWCD 2018)

### 3.5.2 Suodatinkaivo

Hulevesien suodattaminen voidaan toteuttaa käyttämällä suodatinkaivoja, joiden toiminta perustuu hiekan tai soran hyödyntämiseen haitta-aineiden pidättämisessä hulevesistä. Malleja voi olla useita erilaisia, kuten esimerkiksi pohjattomia kaivoja tai reiällisiä putkia. Normaali suodatinkerroksen paksuus on noin 0,5 m. Asennuksen yhteydessä on varmistettava, että suodatinkerroksen yläreuna on noin 1,5 m korkeudella pohjaveden korkeimmasta pinnasta. Suodatinkerros voidaan ympäröidä geotekstiiliverhouksella, jonka avulla hiekka tai sora voidaan pitää koossa. Suodatinkaivo voidaan myös varustaa salaojakerroksella. (Ahponen 2005, 75.)

Suodatinkaivon suodatustehokkuus perustuu hiekan ja soran kykyyn pidättää hulevesissä olevia haitta-aineita. Pohjattomassa suodatinkaivossa hulevesi kulkeutuu suodatinmateriaalin läpi maaperään tai salaojakerrokseen. Reiällinen putki eroaa hiukan suodatinkaivosta suodatinmateriaalin sijoituksen osalta, sillä suodatinmateriaali ympäröi putkea sen sijaan että se olisi sen sisäpuolella. Hulevesi kulkeutuu putkea pitkin valuen tasaisesti reikien välityksellä ympäröivään suodatinmateriaaliin, jossa se puhdistuu ja jatkaa imeytymistä maaperään tai salaojakerrokseen. (Ahponen 2005, 75.)

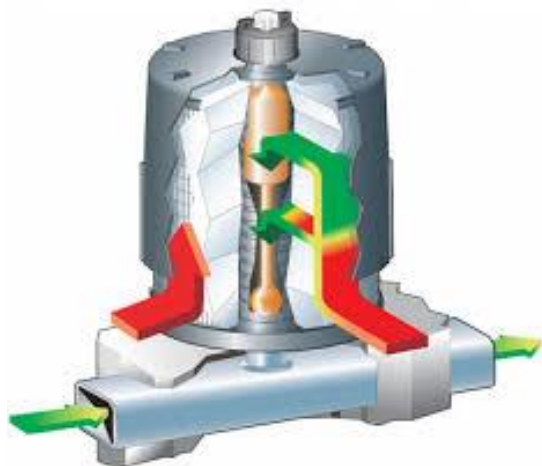
### 3.5.3 Kaivosuodatin

Normaalin hulevesikaivoon asennettava kaivosuodatin on erillinen suodatinrakenne, jonka voi tarpeen tullen poistaa kaivosta puhdistamista varten. Kaivosuodattimessa hyödynnetään suodatinmateriaalina esimerkiksi aktiivihiehtä, polypropyleeniä, selluloosaa tai rakeista turvetta. (Ahponen 2005, 76.) Rakenteellisesti kaivosuodattimet tulee yleensä varustaa tulokammilla, jolla tasataan tulovirtaamaa samalla laskeuttaen suurimpia kiintoaineita pohjalle. Tulokammion jälkeen tulee suodatuskammio, jossa kaivosuodatin sijaitsee. (Kuntaliitto 2012, 184.)

Contech on valmistanut StormFilter®-nimisen kaivosuodattimen, joka sisältää vaihdettavan suodatinmateriaali patruunan. Kuviossa 4 on huleveden virtausnuolilla varustettu kuvio Contech kaivosuodattimesta. Patruunassa olevalla suodatinmateriaalilla voidaan poistaa raskasmetalleja, ravinteita ja muita mahdollisia haitta-aineita, joita hulevedet sisältävät. StormFilter® pyrkii hyödyntämään koko suodatinpatruunaa käyttäen hyödyksi veden aiheuttamaa nostetta. Näin ollen ennen veden vapauttamista suodatin täyttyy vedestä hyödyntäen koko suodatinmateriaalin pinta-alan. Veden noste avaa suodattimessa olevan vesilukon, josta puhdistunut vesi poistuu. Suodatinmateriaaleja on useampia erilaisia, joiden avulla StormFilter® soveltuu erilaisiin käyttökohteisiin. Esimerkiksi suodatinmateriaali Phosphosorb® on valmistettu fosforin poistoa varten. Myös StormFilter® mallin kokoa voi

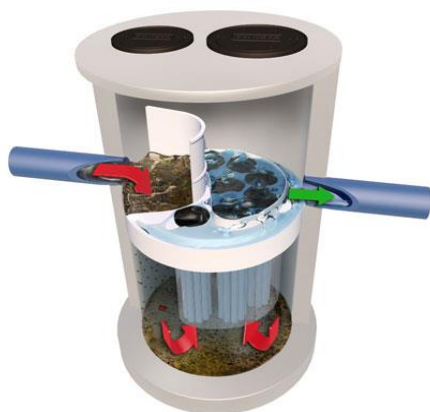


tarvittaessa muuttaa paremmin kohteelle sopivaksi. StormFilter® vaatii huoltoa noin 1-3 vuoden välein, olosuhteista riippuen. (Contech 2018.)



KUVIO 4. StormFilter® veden virtausnuolilla (Stormwater360 2018)

Imbrium on valmistanut Jellyfish® nimisen kaivosuodattimen, joka perustuu kalvosuodattukseen. Kuviossa 5 on huleveden virtausnuolin varustettu kuvio Imbrium kaivosuodattimesta. Se kykenee poistamaan hulevesistä kiintoainesta, öljyä, ravintoaineita ja raskasmetalleja. Jellyfish® kaivosuodatin kykenee käsittelemään suuriakin hulevesimääriä kerralla hyödyntäen suuripinta-alaisia kalvosuodattimia, jotka on muotoiltu muistuttamaan meduusan lonkeroita. Huleveden purkautuessa suodattimeen muodostuu pieni pyörre purkuputken edessä olevan esteen ansiosta, jonka avulla öljy jää veden pinnalle ja muu roska sekä kiintoaines putoaa suodattimen pohjalle. Hulevesi alkaa tämän jälkeen imeytyä kalvoja pitkin ylös. Suodattumisen jälkeen vesi kulkeutuu esimerkiksi hulevesiviemäriin ja osa suodattuneesta vedestä jää suodattimen sisään. Suodattimen sisälle jäänyt vesi puhdistaa sadetapahtuman jälkeen kalvojen pinnan, jolla pidennetään suodattimen käyttöikää. Suodattimia ei käytön aikana tarvitse heti vaihtaa, sillä niille riittää pelkästään huuhtelu. Huuhtelun yhteydessä säiliöstä poistetaan imuautolla kaikki öljy ja kiintoaines. Suodattimen vaihtoväli on noin 2-5 vuoden välein olosuhteista riippuen. (Imbrium 2018.)



KUVIO 5. Kaivonsisäinen Jellyfish® suodatin virtausnuolilla (Imbrium 2018)

Filtrex on valmistanut StormExx® CLEAN nimisen kaivosuodattimen, joka on tarkoitettu sijoitettavaksi suoraan kaivonkannen alapuolelle. Kuviossa 6 on yksinkertainen kuvio Filtrex kaivosuodattimesta. Suodatin on suunniteltu soveltuvaksi lähes kaikkiin nykyisiin kaivomalleihin. StormExx® CLEAN kaivosuodattimessa suodatinmateriaali on sijoitettuna erilliseen suodatinpatruunaan, joka on käytön mukaan vaihdettava. Patruunan pinta on verkkoa, jossa on hyvin pieniä reikiä veden läpäisyä varten. Reiät ovat kuitenkin niin pieniä, että kiintoaineet tai haitta-aineet eivät kykene kulkeutumaan niiden läpi. Suodatin kykenee pidättämään roskia ja kiintoaineita sekä muita haitta-aineita. Toiminnaltaan kaivosuodatin on hyvin yksinkertainen, hulevesi kulkeutuu suodattimeen viemärinkannen läpi, josta se imeytyy suodatinmateriaalin kautta esimerkiksi hulevesiviemäriin. Suodatinmateriaali tulee vaihtaa noin 1-4 vuoden välein, olosuhteista riippuen. (Filtrex 2018.)



KUVIO 6. Filtrex Stormexx® kaivosuodatin (Filtrex 2018)

### 3.5.4 Öljynerotin

Esimerkiksi parkkipaikoilla öljyä kulkeutuu hulevesien mukana enemmän ympäristöön kuin muualla. Siksi näillä alueilla hulevesiä ei suositella johdatettavaksi suoraan imeytykseen ennen öljynerottamis toimenpidettä. Öljy on hyvin nopeasti leviävä haitta-aine, jonka suurimpia riskejä ovat sen kulkeutuminen vesistöihin ja pohjaveteen. (Ympäristö 2014.) Öljyn ja veden tiheyksien eroja voidaan hyödyntää erotinmenetelmien käytössä. Esimerkiksi yksi menetelmä erotella öljy vedestä on johdattaa hulevedet koalisattorin läpi, jonka pinnalle öljypisararat tarttuvat. Öljypisaroiden pidättymisen jälkeen ne nousevat veden pinnalle, josta ne voidaan puhdistaa. (Kuntaliitto 2012, 187.)

Öljynerottimet ovat normaalisti maanalle asennettuja umpinaisia säiliöitä. Niillä ei voida käsitellä suurien valuma-alueiden hulevesi virtaamia ja huoltotoimenpiteitä tarvitaan usein. Öljynerottimet soveltuvat hyvin esimerkiksi katu- tai tehdasalueille, joiden hulevesissä on todettu olevan suuria öljypitoisuuksia. (Ahponen 2005, 75.)

## 3.6 Hallintamenetelmien yhteenveto

Hulevesien hallintamenetelmiä on monia erilaisia, niin luonnollisia kuin myös täysin rakenteellisia. Jokaisen hallintamenetelmän voi jakaa neljään erikategoriaan: johdattaviin-, viivytäviin, vähentäviin- tai suodattaviin ratkaisuihin. Näin ollen on tärkeää hyödyntää jokaisen hallintamenetelmän ominaisuuksia yhdistämällä niitä kokonaisuuksiksi. Esimerkiksi kaupunkialueelta voidaan johdattaa hulevesiä hulevesiviemäriin, hyödyntämällä kouruja. Tämän jälkeen ne voidaan johdattaa hulevesiviemäriin välityksellä kaupunkialueen ulkopuolella olevaan avo-ojaan tai painanteeseen, josta ne kulkeutuvat kosteikkoon. Vaihtoehtoisesti ne voidaan myös kourujen välityksellä johdattaa suoraan kaupunkialueella olevalle kasvillisuusalueelle imeytymään maaperään.

Hallintamenetelmien vaikuttaminen hulevesien laatuun on hyvin vaihtelevaa niiden erilaisien rakenteiden ja ominaisuuksiensa vuoksi. Laadun parantamisen osalta on monia tekijöitä, jotka vaikuttavat lopulliseen puhdistustulokseen. Esimerkiksi vaikutus huleveden virtausnopeuteen, kasvillisuuden määrä sekä maaperän laatu. Viivyttämällä hulevesiä eli hidastamalla niiden virtausnopeutta voidaan tehostaa niissä olevien kiintoaineiden laskeutumista, jolloin ne jäävät luonnollisessa hallintamenetelmässä pohjasedimenttiin. Myös mikrobiologinen toiminta hyötyy viivyttämisestä. Imeyttämisen ja suodattamisen osalta olisi tärkeää saada mahdollisimman paljon kiintoainesta poistettua hulevesistä, jotta se ei pääse tukkimaan suodatinmateriaalia ja näin ollen estämään huleveden imeytymistä maaperään tai suodatinmateriaaliin. Kasvillisuuden määrä vaikuttaa hulevesien laatuun sitomalla itseensä niissä olevia haitta-aineita sekä ne kykenevät haihduttamaan tehokkaasti vettä. Kasvien haihdutuskykyä hyödynnetään muun muassa viherkatoissa. Samalla kasvien juuristo pitää maaperän huokoisena, varmistaen hulevesien tehokkaan imeytymisen. Maaperän laatu vaikuttaa imeytymisen yhteydessä hulevesien laatuun sitomalla itseensä kasvien lailla haitta-aineita ennen kuin hulevesi päätyy pohjaveteen. Joissakin tapauksissa maaperä voi olla niin tiivistä, ettei hulevesi pääse imeytymään siihen kunnolla. Tällöin massanvaihto voi olla tarpeellinen hallintamenetelmästä riippuen. Erilaisten hallintamenetelmien puhdistustehokkuudet ovat taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Hallintamenetelmien puhdistustehokkuuksien mediaanilukuja (Center for Watershed Protection 2007)

Mediaani (%)	A	B	C	D	E	F
Kiintoaines	70	80	80	90	60	85
Kokonaisfosfori	50	50	25	65	5	60
Liuenut fosfori	25	65	-40	85	0	5
Kokonaistyyppi	25	30	55	40	45	30
Orgaaninen hiili	20	45	70	90	-	55
Kokonaissinkki	40	65	70	65	80	90
Kokonaiskupari	50	60	65	85	80	40
Bakteerit	60	70	0	90	50	40
Hiilivedyt	75	80	80	90	90	85
A = Kosteikko, B = Rakennettu allas, C = Painanne, D = Imeytyskaivanto, E = Biopainanne, F = Suodatinkaivo						

Huollon osalta hallintamenetelmissä on pieniä eroavaisuuksia, riippuen niiden rakenteellisista ominaisuuksista ja toimintaperiaatteista. On kuitenkin tärkeää tarkastella hallintamenetelmien toimintaa. Poikkeustilanteen tapahtuessa täytyy hallintamenetelmälle tehdä tarpeelliset toimenpiteet oikeanlaisen toiminnan takaamiseksi. (NVRC 2007.) Erilaisten hallintamenetelmien ongelmatilanteita ja huoltotoimenpiteitä on taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Hallintamenetelmien ongelmatilanteet ja ratkaisut (NVRC 2007)

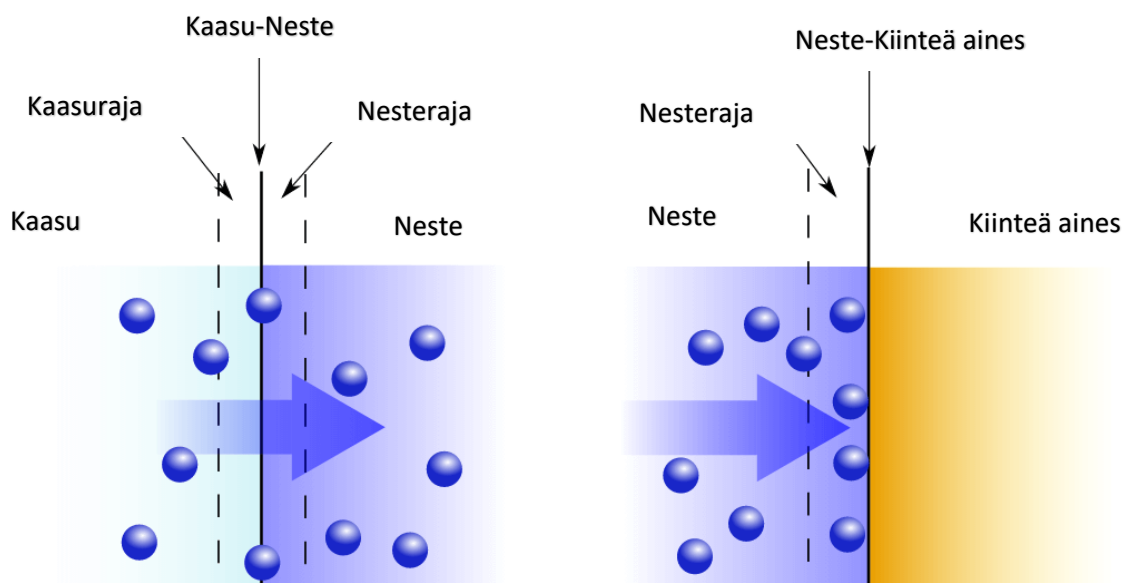
Hallintamenetelmä	Ongelmatilanteita	Huoltotoimenpiteitä
<b>Kourut ja kanavat</b>	Sedimentin ja roskien kerääntyminen	Sedimentin ja roskien poistaminen
<b>Uomat, avo-ojat ja painanteet</b>	Kasvillisuuden uupuminen, sedimentin ja roskien kertyminen, estynyt vedenkulku	Sedimentin poistaminen, kasvillisuuden lisääminen
<b>Lammikot, kosteikot ja rakennetut altaat</b>	Sedimentin kerääntyminen, ötököitä ja hajuhaittoja, leväkasvusto, vain yhden kasvilajikkeen pärjääminen	Sedimentin poistaminen, kasvillisuuden lisääminen
<b>Vettä läpäisevät päällysteet ja viherkatot</b>	Vuotava katto, vääränlaisen kasvillisuuden lisääntyminen, kasvien kuolleisuus, sedimentin kertyminen	Sedimentin poistaminen, vuotojen korjaaminen, kasvualusta ja kasvillisuuden lisäys, kuivuuden aikainen kastelu
<b>Imeytyskaivanto- ja painanne, suodatinkaivo, viivytyspainanne ja rakennettu kaivanto</b>	Tukkoisuus, ötököitä ja hajuhaittoja, roskien kerääntyminen suodattimeen, ympärillä kuollut kasvillisuus	Sedimentin poistaminen, pintasuodatinmateriaalin vaihtaminen uuteen ja kasvillisuuden uusiminen

## 4 SUODATINMATERIAALIT JA NIILLÄ TOTEUTETUT TUTKIMUKSET

### 4.1 Raskasmetallien pidättäminen

Erilaisia kemiallisia ja fyysisiä prosesseja voidaan hyödyntää hulevesien laadun parantamisessa. Varsinkin suodattamisessa on tärkeää osata tarkastella siinä käytettyjen suodatinmateriaalien toimintaa sekä syitä, miksi ja miten ne kykenevät pidättämään hulevesissä olevia haitta-aineita. Tarkastelemalla suodatinmateriaalien toimintaa voidaan varmistua parhaimmasta mahdollisesta suodatustehokkuudesta. Suodatinmateriaaleissa tapahtuvia reaktioita kutsutaan absorptioksi ja adsorptioksi sekä ioninvaihdoksi. (Chromatography 2014.)

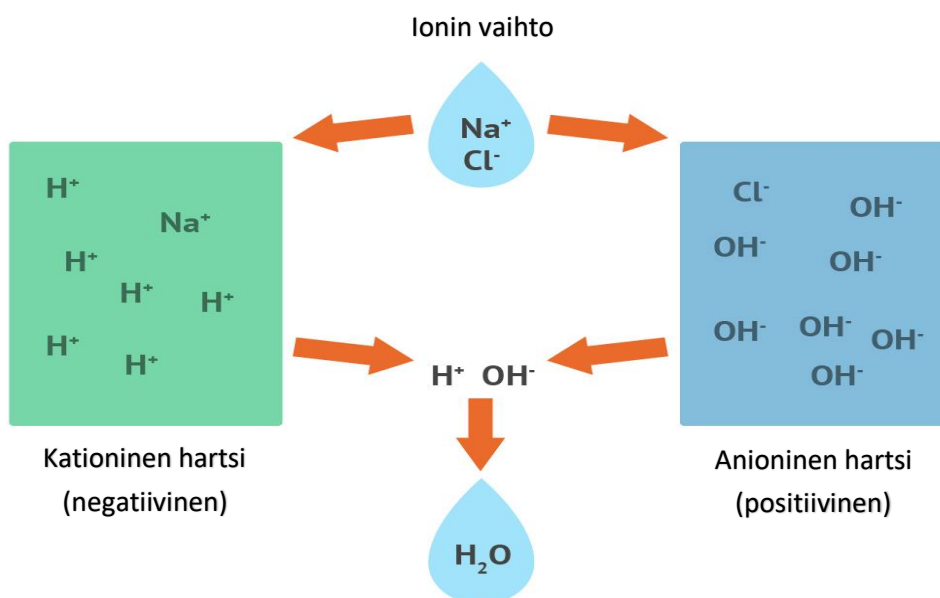
Absorption tapahtuu joko fyysisenä- tai kemiallisena absorptiona. Fyysisen absorption toteutuminen riippuu prosessin aikaisesta nesteestä, kaasusta tai kiinteästä aineesta sekä niiden liukoisuudesta. Myös ympäristön lämpötila ja paine vaikuttavat siihen. Fyysinen absorptio tapahtuu esimerkiksi silloin, kun ilmassa oleva happi liukenee veteen. Kemiallisessa absorptiossa syntyy reaktio. Näin tapahtuu esimerkiksi, jos vetysulfidi poistetaan biokaasusta ja muutetaan kiinteäksi rikiksi. (Chromatography 2014.) Kuviossa 7 havainnollistetaan absorptio ja adsorptio eroa.



KUVIO 7. Vasemmalla absorptio ja oikealla adsorptio (Byju's 2018)

Adsorptio tapahtuu aineen pinnalla joko fyysisesti tai kemiallisesti. Fyysisessä adsorptiossa molekyylin vaihdos tapahtuu Van der Waalsin vuorovaikutusten välityksellä, jossa atomit vetävät toisia atomeja heikosti puoleensa sekä kemiallisessa adsorptiossa kun kahdella atomilla on pariton elektroni ja ne muodostavat keskenään kovalenttisten sidoksen. (Oppi 2018, 1.13, 1.5.) Ainoa ero näiden kahden tapahtuman välillä on energian tarve,

jota kemiallisessa adsorptiossa tarvitaan enemmän kuin fyysisessä adsorptiossa. Näin ollen fyysinen adsorptio voi tapahtua matalimpien lämpötilojen aikana kemialliseen verrattuna. (Chromatography 2014.) Adsorption lisäksi suodattumisen aikana voi tapahtua ioninvaihdos, joka on rinnastettavissa adsorption toimintamalliin ja näin ollen molemmista käsitteistä käytetään sanaa adsorptio tai sorptio. (Levan, Carta & Yon 1999, 4). Ioninvaihtoa hyödynnetään esimerkiksi veden puhdistuksessa, jossa sen avulla vähennetään veden kovuutta. Prosessi perustuu ei-haluttujen ionien poistamiseen korvaamalla ne saman varauksen omaavilla ioneilla. Ionien varaus perustuu atomeihin, joissa elektronien määrä ei ole yhtä suuruinen protonien määrän kanssa. Varaus voi olla positiivinen tai negatiivinen. Positiivisesti varautunutta ionia kutsutaan kationiksi ja negatiivisesti varautunutta anioniksi. (Fluence 2016.) Kuviossa 8 havainnollistetaan ioninvaihdon toimintaa.



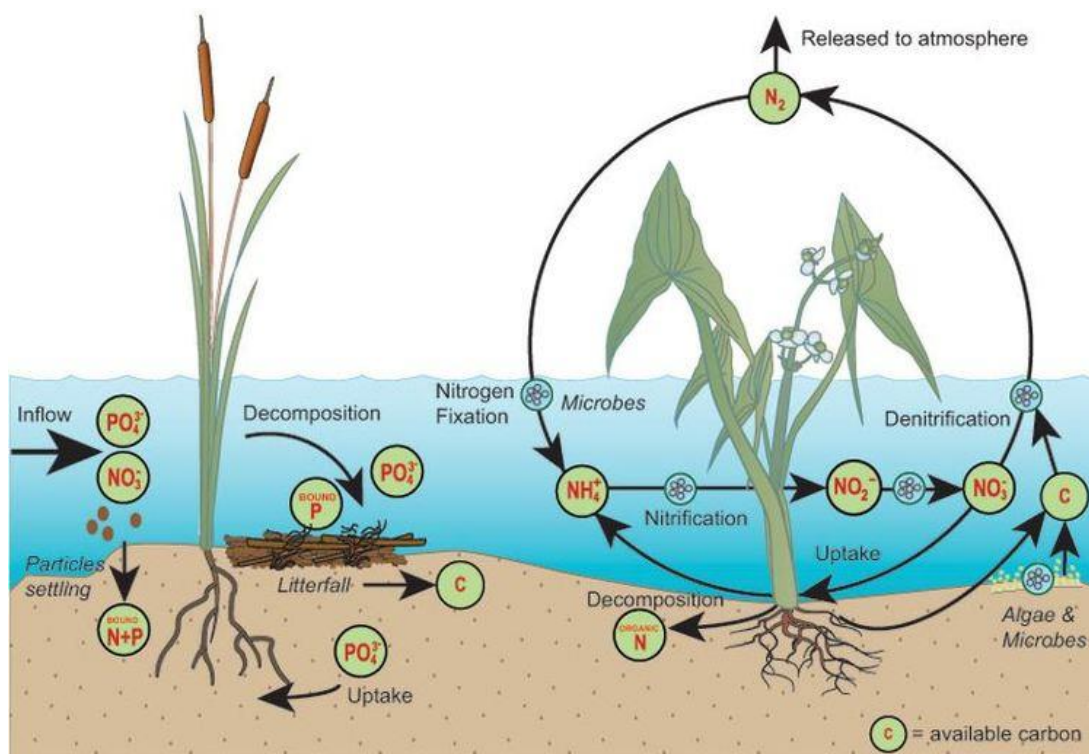
KUVIO 8. Ioninvaihto esimerkki, jossa syntyy vettä (Global energy 2018)

## 4.2 Ravinteiden poistaminen

Hulevedet kuljettavat raskasmetallien lisäksi ravinteita, joiden poistaminen olisi tärkeää varsinkin vesistöjen rehevöitymisen välttämisen vuoksi. Typpi on yleensä poistettavissa ainoastaan mikrobitoimintaa hyödyntämällä, jossa kiinteän aineksen pinnalla olevat bakteerit pääsevät hyödyntämään sitä ravinteenaan. Pääasiallisia typenpoistomekanismeja ovat ammonifikaatio, nitrifikaatio ja denitrifikaatio, joista denitrifikaatio on kaikista yleisin. Siinä mikrobitoiminnan avulla typestä muodostuu kaasua, jolloin se poistuu vedestä ilmaan. Denitrifikaatio tapahtuu heterotrofisten bakteerien avulla, tarkoittaen että bakteerit

tarvitsevat jonkinlaisen hiililähteen toimiakseen. Lämpötila on myös hiililähteiden lisäksi tärkeä tekijä. Hiililähteenä toimii tehokkaasti esimerkiksi kasvit. (Kostel 2014.)

Fosforin poistaminen tapahtuu pääosin fyysisesti ja kemiallisesti pidättämällä. Fosforin ollessa sitoutuneena muihin hiukkasiin, sen poistaminen tapahtuu laskeuttamalla pohjasedimenttiin. Liukoisessa muodossa fosfori pidättyy suodatinmateriaaliin adsorptiolla, sillä liukoisessa muodossa se on negatiivisesti varautunut fosfaatti-ioni. (Kostel 2014.) Kuviossa 9 havainnollistetaan typen ja fosforin kulkeutumista vedessä englanniksi.



KUVIO 9. Typen ja fosforin kulkeutuminen vedessä (Kostel 2014)

#### 4.3 Raskasmetallien pidättäminen hulevesistä, Ruotsi

Ruotsissa Chalmersin teknillisessä yliopistossa tehtiin koe, jossa tarkasteltiin erilaisten suodatinmateriaalien kykyä pidättää hulevesissä olevia raskasmetalleja. Kokeen aikana tarkastellut raskasmetallit olivat lyijy, kupari, sinkki, nikkeli, kromi ja kadmium. Suodatinmateriaaleja oli 11 erilaista, jotka näkyvät taulukossa 8. Kokeessa hyödynnettiin FlexiClean AB ja Absorbenta Miljö AB suodatinkasetteja, joiden sisälle suodatinmateriaalit laitettiin sekä Acitex Miljöskydd AB kelluvia suodattimia. Tästä edespäin suodatinkaseteista ja suodattimista käytetään lyhenteinä kirjaimia. FlexiClean AB on "A", Absorbenta Miljö AB on "B" ja Acitex Miljöskydd AB on "C". A kasettia modifioitiin kahdesti. Ensimmäisellä modifioinnilla



hidastettiin veden virtausta ja toisella kerralla parannettiin suodatinkasetin tiivisteitä. Suodatinkaseteissa "A1" tarkoittaa hidastettua virtaama ja "A2" tiivistettyjä saumoja. (Farre 2015, 22-23.)

TAULUKKO 8. Suodatinmateriaalit ja niiden lähteet (Farre 2015)

<b>Suodatinmateriaali</b>	<b>Kuvaus</b>	<b>Lähde</b>
<b>Männynkaarna</b>	Männyn pintaa suojaava kerros	Zugol AB
<b>Kitosaani</b>	Äyriäisten kuorista valmistettava materiaali	BioLog Heppe GmbH
<b>Polyuretaani vaaho ja aktivoitu hiili</b>	Vaahтомуovia ja orgaanisesta aineksesta valmistettua hiiltä	EMW filtertechnik GmbH
<b>Ilmapuhallettu polyfenyylietteri</b>	Suodattamiseen valmistettava muovi	ACITEX Miljöskydd AB
<b>Kierrätetty polyuretaani</b>	Vaahтомуovia rakeisessa tai jauhomaisessa muodossa	ÖKO – pur, USG-Umweltservice GmbH
<b>Rakeinen ferrihydroksidi</b>	Punaruskea rautayhdiste	CFH, Kemira
<b>Nanoselluloosa</b>	Kasvien soluseinien rakenneaines	Luleå University of Technology
<b>Turve</b>	Hapettomissa oloissa hajonnut orgaaninen aines	Axon miljöteknik AB
<b>Savirae</b>	Mahdollisesti useampaa savimineeraalia sisältävä materiaali	Bara Mineraler AB
<b>Vulkaaninen hohkakivi</b>	Suurella lämpötilassa muodostunut kiviaines	Bara Mineraler AB
<b>Absol</b>	Hiekkaa, kalkkia ja sementtiä sisältävä suodatinmateriaali	Yxhult Miljö AB

Kokeen toteuttamista varten valmistettiin kahdenlaista raskasmetalliseosta, joista ensimmäinen koostui liuenneista raskasmetalleista ja toinen raskasmetallipartikkeleista. Liuk-

sisä käytetyt raskasmetallit ja niiden konsentraatiot näkyvät taulukossa 9. Raskasmetallien pitoisuudet pyrittiin saamaan mahdollisimman lähelle luonnossa esiintyvissä huleveissä olevia pitoisuuksia, jotka perustuivat kirjallisuuslähteisiin. Keinotekoista hulevettä valmistukseen raskasmetalliseosta kaadettiin noin 500 ml yhteen vedellä täytettyyn säiliöön, jonka tilavuus oli 500 l. Vesisäiliöitä oli useita ja niitä käytettiin kokeessa vaihteittain. Raskasmetalliseoksen lisäyksen jälkeen vettä sekoitettiin sähkösekoittimella ennen koetta ja kokeen jälkeen, jotta raskasmetallien pitoisuudet olisivat mahdollisimman tasaiset jokaista vesikerrosta kohden. (Farre 2015, 20.)

TAULUKKO 9. Metallien konsentraatiot liuoksissa (Farre 2015)

Metalli	Aines	Metallit liukoisena (mg/l)	Metallit partikkeleina (g)
Lyijy	Lyijy (II) nitraatti	0,05	0,4
Kupari	Kupari (II) sulfaatti	0,2	2,5
Sinkki	Sinkkikloridi	1	10,4
Nikkeli	Nikkelikloridi	0,07	0,4
Kromi	Kromikloridi	0,07	0,4
Kadmium	Kadmiumkloridi	0,0015	8,0

Yhteensä kokeita tehtiin 70 kertaa taulukon 10 mukaisesti, mutta ne toteutettiin kahdessa eriosassa. Ensimmäiset 36 koetta suoritettiin kahdella eritehoisella pumpulla ja keinotekoisena hulevetenä käytettiin liuosta, jossa raskasmetallit olivat liukoisessa muodossa.

Pumppujen avulla saatiin luotua virtaamiksi 13 l/min ja 60 l/min. Toiset 34 koetta suoritettiin pienempitehoisella pumpulla ja keinotekoisella hulevedellä, jossa metallit olivat partikkelimuodossa. Pumpulla saatiin veden virtaamaksi vaihtoehtoisesti joko 3 l/min tai 9 l/min. Jokaisen kokeen jälkeen näytteitä otettiin 15 ml verran tutkimuksia varten. (Farre 2015, 24.)

TAULUKKO 10. Kokeiden jaottelut virtaaman osalta (Farre 2015)

<b>Virtaama</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>
<b>13 l/min</b>	14	5	-	-	-
<b>60 l/min</b>	5	-	2	10	-
<b>9 l/min</b>	-	-	-	21	-
<b>3 l/min</b>	-	2	-	1	10

#### 4.3.1 Suodatinmateriaalit

##### **Kaarna**

Puuteollisuudessa sivutuotteena syntyvää männyn kaarna voidaan hyödyntää hulevedenkäsittelyssä lähes sellaisenaan. Männyn kaarna on biohajoava, joten se on helppo loppusijoittaa kompostoimalla hulevedenkäsittelyssä hyödyntämisen jälkeen, jos sen haitta-ainepitoisuudet ovat riittävän matalia. (Farre 2015, 6.)

Täljemark (2004) on ennestään tehnyt männyn kaarnan raskasmetallien adsorptiotehokkuudesta kokeita. Kokeiden tulokset antoivat positiivisia viitteitä sen toimivuudesta suodatinmateriaalina. Kokeessa tutkittiin männyn kaarnan adsorptiotehokkuutta lyijyn, kuparin ja sinkin osalta. Koetulokset osoittivat, että adsorptioprosessi tapahtuu pääosin ioninvaihtona. Männyn kaarnan osalta ioninvaihdossa kalsium, kalium sekä magnesium vaikuttavat mekanismin tehokkuuteen. Kokeessa raskasmetallit pidättyivät järjestyksessä Pb>Cu>Zn. Lyijyllä on kyky muodostaa komplekseja, jotka sitoutuvat tehokkaasti kaarnan pinnalle, jonka vuoksi kaarnalla kyettiin poistamaan sitä tehokkaimmin. (Farre 2015, 13.)

Al-Asheh ja Duvnjak (1997) tekivät myös kokeen männyn kaarnan raskasmetallien pidättämistehokkuudesta, jossa tutkittiin edellä mainittujen raskasmetallien lisäksi myös kadmiumia. Koetuloksissa kävi ilmi, että halkaisijaltaan pienillä männyn kaarnapartikkeleilla sekä suurella kadmium pitoisuudella kyettiin parantamaan sen kadmiumin pidätyskykyä. Verrattaessa tuloksia Täljemarkin (2004) tekemiin kokeisiin, kaarna kykeni pidättämään kadmiumia raskasmetalleista toiseksi eniten, edelleen lyijyn ollessa ensimmäisenä. (Farre 2015, 13.)

Kadmiumin pidätyskykyyn vaikuttaa lisäksi pH-arvo, joka tutkimusten perusteella on sopivimmillaan 4:n ja 5,5:n välillä. Männyn kaarnan sisältämä tanniini on heikko happo, josta ioninvaihdon yhteydessä irtoaa kaksi vetyionia liuokseen, laskien samalla liuoksen pH-arvoa. (Farre 2015, 14.)

## **Kitosaani**

Merestä saatava kitosaani on polykationinen polymeeri. Se on myrkytön ja biologisesti hajoava polysakkaridi, jota voidaan valmistaa äyriäisten kuoresta deasetyloimalla kitiiniä. Kitosaani kykenee sitomaan valikoivasti itseensä esimerkiksi rasvoja sekä metalli-ioneja.

Polysakkaridit, joita on deasetyloitu noin 50 %, ovat adsorptiomateriaaleja. Kitosaani kykenee sitomaan valikoivasti itseensä esimerkiksi rasvoja sekä metalli-ioneja. Polysakkaridien adsorptiotehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat partikkelikoko, kiteisyys, veden affiniteetti sekä aminoryhmien pitoisuus ja pH-arvo. (Farre 2015, 7, 14.)

## **Polyuretaani vaahto ja aktiivihili**

Kokeessa käytettiin polyuretaanivaahtoa sellaisenaan sekä polyuretaani vaahton ja aktiivihien yhdistelmää. Polyuretaani vaahtoja on kahdenlaista tyyppiä, polyeetteri sekä polyesteri. Polyeetteri on yleisesti ottaen parempaa sen hydrolyysi- sekä kemiallisen kestävyytensä takia, jonka ansiosta viskoelastista polyeetteri vaahtoa käytetään kalan kasvatuksessa ja biologisessa vesien huollossa. (Farre 2015, 8.)

Polyuretaani vaahtoissa voi olla joko avoimia tai sulkeutuneita soluja. Avoimilla soluilla olevia polyuretaani vaahtoja on olemassa 10 - 80 PPI välillä, jossa PPI tarkoittaa huokosten määrää 2,5 cm alueella. Polyuretaani vaahto on valmistettu CFC vapaasti eli polyuretaani vaahto ei sisällä freoneja ja se on myös helposti kierrätettävä materiaali. Polyuretaani vaahto sellaisenaan ei ole välttämättä riittävä adsorptio materiaali, sillä se kykenee ainoastaan pidättämään komplekseja metalliyhdisteitä, kuten lyijyä. Siksi kokeessa käytettiin myös polyuretaani vaahtoa aktiivihien kanssa. Polyuretaani vaahtoon on lisätty aktiivihiltä noin 80 - 100 g yhden millimetrin paksuutta ja neliömetrin kokoista aluetta kohden. Näin ollen pinta-alaa vaahdossa on aktiivihien lisäyksen jälkeen noin 900 - 1300 m<sup>2</sup> grammaa kohden. (Farre 2015, 7-15)

## **Ilmapuhallettu polyfenyylieetteri**

Pintavesien haitta-aineiden poistamista varten valmistetaan ilmapuhallettua polyfenyylieetteriä. Siitä voidaan tehdä erilaisia valmiita suodatinpaketteja, joita on helppo hyödyntää sellaisenaan suodatinkaseteissa. Ilmapuhallettu polyfenyylieetteri soveltuu hyvin esimerkiksi öljyjen, kemikaalien ja raskasmetallien poistamiseen vedestä. (Farre 2015, 8)

## **Kierrätetty polyuretaani**

On olemassa kahdenlaista polyuretaania, rakeista ja jauhemaista. Jauhomaisessa muodossa polyuretaani kykenee sitomaan tehokkaasti huokoisilta ja karkeilta pinnoilta kemikaaleja sekä öljyjä. Esimerkiksi autotiet ja teollisuusalueet ovat sille hyviä käyttökohteita.

Kierrätetyssä polyuretaani jauheessa on hyvin huokoinen pinta, jonka ansiosta se toimii tehokkaasti ja nopeasti. Kevyen painonsa ansiosta sen loppusijoittaminen käytönjälkeen ei ole kovinkaan kallista. (Farre 2015, 8-9)

### **Rakeinen ferrihydroksidi**

Rakeinen ferrihydroksidi sisältää rautaa noin 44 %. Sitä käytetään normaalisti vesien huollossa, sillä se kykenee sitomaan itseensä useampia raskasmetalleja. Ainoita ongelmia sen käytössä on hinta ja vaikea käytön jälkeinen kierrättäminen. (Farre 2015, 9)

Genç-Fuhrmanin (2007) tekemien kokeiden perusteella rakeinen ferrihydroksidi on tehokas materiaali raskasmetallien pidättämisessä, varsinkin kromin osalta. Se kykenee myös tehokkaasti pidättämään kadmiumia, nikkeliä ja sinkkiä. Mitä suurempi ferrihydroksidi-konentraatio on, sitä parempi raskasmetallien pidättämiskyky sillä on. Liuoksen pH-arvoja seurattaessa huomattiin, että pidättymisen ollessa suurimmillaan, nousi liuoksen pH-arvo samalla neutraalin tasolle alkuperäisestä pH-arvosta 6,5. Tämä tarkoittaa sitä, että raskasmetallien pidättyminen perustui sähköstaattiseen vetovoimaan sekä kompleksien muodostumiseen ferrihydroksidin pinnalla raskasmetallien kanssa. (Farre 2015, 15)

Wu ja Zhoun (2009) tekemän kokeen aikana esiintyi pieniä muutoksia raskasmetallien pidätystehokkuuksien osalta, sillä kromi olikin tällä kertaa huonoiten pidättynyt raskasmetalli. Tämän oletetaan johtuvan ferrihydroksidin desorptiosta. (Farre 2015, 15)

### **Nanoselluloosa**

Kaikenlaisesta puuaineksesta voi valmistaa nanoselluloosaa erottamalla nanoselluloosa-kuidut puupohjaisista kuiduista mekaanisin menetelmin. Nanoselluloosa on halkaisijaltaan 1-100 nm ja pituus on mikronin suuruusluokkaa. Orgaanisuutensa ansiosta se on biologisesti hajoavaa. (Farre 2015, 10)

Kardamin (2014) teettämässä kokeessa tarkasteltiin nanoselluloosan raskasmetallien pidätyskykyä, jossa käytettiin raskasmetalleina kadmiumia, nikkeliä ja lyijyä. Kokeen perusteella nanoselluloosa pidätti raskasmetalleja järjestyksessä Pb>Cd>Ni. Pidättäminen perustuu suuriin -OH eli hydroksyyli ryhmiin, jotka mahdollistava sähköstaattisen vuorovaikutuksen kahdenarvoisten kationisten metallilajien välillä. (Farre 2015, 15-16)

### **Turve**

Turvetta syntyy, kun kasvillisuus ja muu orgaaninen aines hajoaa hapettomissa olosuhteissa. Hapetonta hajoamista kutsutaan anaerobiseksi hajoamiseksi, mikä myös tarkoittaa mädättämällä tapahtuvaa hajoamista. Otollisimmat olosuhteet turpeen syntymiselle on suoalueilla, joissa vesi estää hapen kulkeutumisen maaperään. (Farre 2015, 10)

Adsorptiokykyyn vaikuttaa turpeen tyyppi sekä liuoksen pH-arvo, ionikonsentraatio ja ioni-  
vahvuus. Turpeessa on ligniiniä ja selluloosaa, joista ligniini sisältää polaarisia funktionaa-  
lisiä ryhmiä. Ligniinin sisältämiä polaarisia funktionaalisiryhmiä ovat humus- ja fulvo-  
happo. Humushappomolekyylit voivat muodostaa huokoisia yhdistelmiä, joilla on suuria  
pinta-aloja ja näin ollen ne kykenevät tehokkaasti pidättämään raskasmetalleja. Paras ras-  
kasmetallien pidättämiskyky saavutetaan pH-arvon ollessa 6-7. (Farre 2015, 16)

Kalmykovan (2008) teettämässä kokeessa tarkasteltiin turpeen raskasmetallien pidättä-  
miskykyä kuparilla, nikkelillä, kadmiumilla, lyijyllä sekä sinkillä. Tuloksien mukaan raskas-  
metallit pidättyivät järjestyksessä Pb>Cu>Ni>Cd>Zn. Tuloksista huomattiin myös, että ras-  
kasmetallien konsentraatioiden kasvaessa, myös niiden pidätyskyky heikkenee. (Farre  
2015, 16)

### **Savirae**

Luonnosta löytyvä savi sisältää yhtä tai useampaa erilaista savimineraalia ja se saattaa  
sisältää pieniä määriä metallioksideja sekä orgaanisia aineita. Saven adsorptiokyky perus-  
tuu silikaattimalmien rakenteissa oleviin negatiivisesti varautuneisiin ioneihin eli anionei-  
hin. Adsorptiota tehostaa myös saven suuripinta-ala. (Farre 2015, 11-17.)

Potgieterin (2006) teettämässä kokeessa tarkasteltiin, kuinka hyvin savi kykenee pidättä-  
mään lyijyä, kromia, nikkeliä ja kuparia. Tuloksien mukaan raskasmetallit pidättyivät järjes-  
tyksessä Pb>Cr>Ni>Cu. Tuloksissa ilmeni, että pH-arvon ollessa alhainen syntyy vastak-  
kainasettelua vety- ja metalli-ionien adsorptiossa. Nostamalla pH-arvoa hydroksidi-ionit  
luovat tasapainon, jonka avulla metalli-ionit voivat adsorboitua tehokkaasti saven pinnalle.  
pH-arvo ei tosin saa olla liian korkea, sillä pH-arvon ollessa 7-8,5 vähentyy lyijyn ja kupa-  
rin pidättyminen. (Farre 2015, 17.)

### **Vulkaaninen hohkakivi**

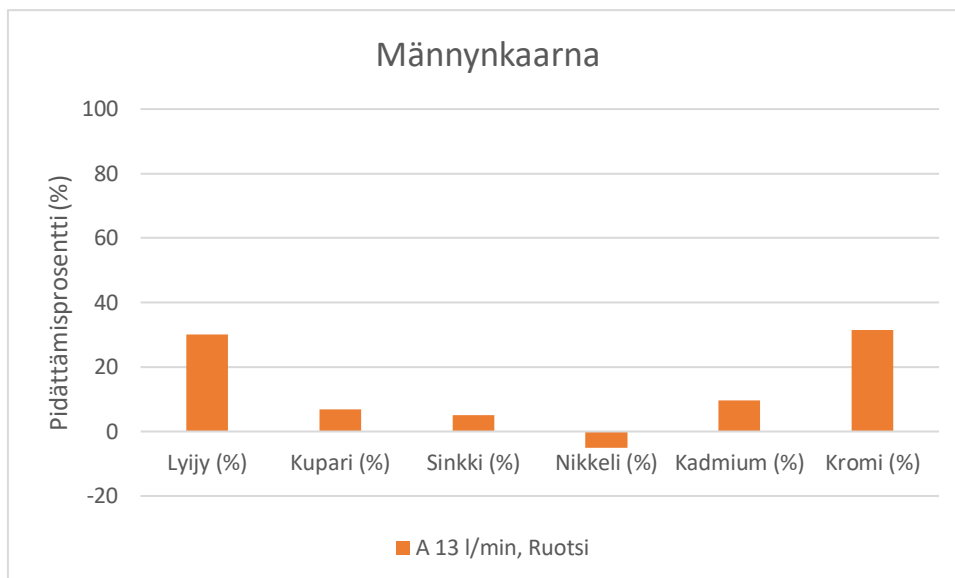
Hohkakivi syntyy, kun kuuma kiviaines jäähtyy nopeasti paineen samanaikaisesti pienen-  
tyessä. Vulkaaninen kivi koostuu karkeasta sekä huokoisesta vulkaanisesta lasista. Ras-  
kasmetallien pidätystehokkuutta vulkaanisissa kivissä tehostaa niiden suuri pinta-ala, te-  
hokas veden adsorptiokyky sekä pinnan negatiiviset varaukset. Alemayehu (2010) tutki  
vulkaanisen hohkakiven raskasmetallien pidättämiskykyä kuparilla, nikkelillä ja kad-  
miumilla, jotka pidättyivät järjestyksessä Cu>Ni>Cd. Sopivin pH-arvo on 4-6 välillä par-  
haimman adsorptiokyvyn takaamiseksi. (Farre 2015, 11-17.)

## Absol

Pääraaka-aineina Absolin valmistuksessa ovat hiekka, kalkki, sementti ja vesi. Ainesosat on sekoitettu keskenään, jonka jälkeen joukkoon on lisätty alumiinijauhetta. Jauheen avulla seoksessa tapahtuu käymisprosessi, jonka avulla siihen muodostuu suurihuokostilavuus. Valmistuksen jälkeen Absol murskataan erikokoisiksi rakeiksi, jotta sitä voidaan hyödyntää mahdollisimman monessa käyttökohteessa. (Farre 2015, 12.)

### 4.3.2 Tulokset

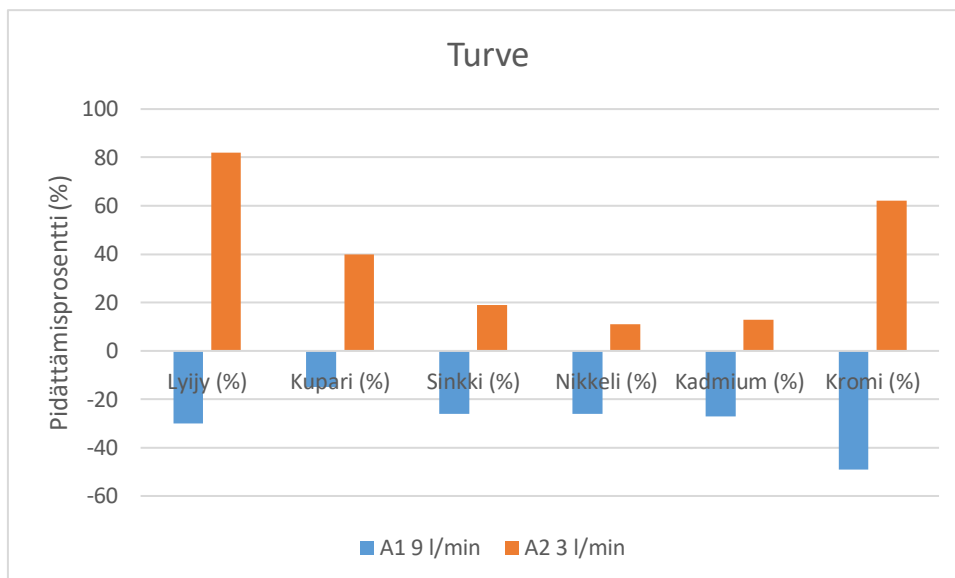
Kokeen ensimmäisessä osiossa huomattiin, että keinotekoisien huleveden liian nopeat virtaamat aiheuttavat jokaisen suodatinmateriaalin osalta ongelmia raskasmetallien pidättämisessä. Tuloksien perusteella, jotka näkyvät alla olevassa kuviossa 10 (KUVIO 10), on kuitenkin huomattavissa, että männyn kaarna kykenee suodatin kasetilla A 13 l/min virtaamalla pidättämään nikkeliä lukuun ottamatta kaikkia muita raskasmetalleja, tosin ei siltikään kovinkaan tehokkaasti. (Farre 2015, 27.) Verrattaessa Farren (2015) kokeiden tuloksia Ukrainalaisen Khokhotvan (2010) tekemään kokeeseen männyn kaarnan raskasmetallien pidätyskyvystä, voidaan huomata jonkinlaista korrelaatiota tuloksien välityksellä. Molempien tutkimuksien perusteella männyn kaarna pidätti raskasmetalleja järjestyksessä  $Pb > Cu > Zn > Ni$ . On myös huomioitavaa, että nikkelin desorptio eli vuotaminen takaisin keinotekoiseen huleveteen on myös verrattavissa Ukrainassa tehtyyn tutkimukseen, jonka mukaan männyn kaarnan desorptio nikkelin osalta on kaikista suurin. Todennäköisimmin männyn kaarnan raskasmetallien pidättämiskykyyn vaikuttaa siitä vapautuvien tanniinien happamoittava vaikutus, mikä aiheuttaa raskasmetalleissa liukoisuutta. Khokhotvan (2010) toteuttama koe myös osoitti, että männyn kaarnan käsitteleminen 5 % urealiuoksella lisää sen raskasmetallien pidättämiskykyä jopa 2-5 kertaiseksi käsittelemättömään männyn kaaraan verrattaessa. Urea on emäksinen aines, mikä vähentää männyn kaarnan aiheuttamaa happamoitumista, tehostaa ligniinin eli männyn kaarnan pinnan kykyä pidättää raskasmetalleja liuottamalla ja pilkkomalla sitä sekä muodostaa tyypeä sisältäviä ryhmiä männyn kaarnan pinnalle, jotka kykenevät sitomaan raskasmetalleja itseensä. (Khokhotvan 2010, 337-340.)



KUVIO 10. Männyn kaarnan raskasmetallien pidätyskyky Ruotsissa toteutettujen kokeiden mukaan (Farre 2015)

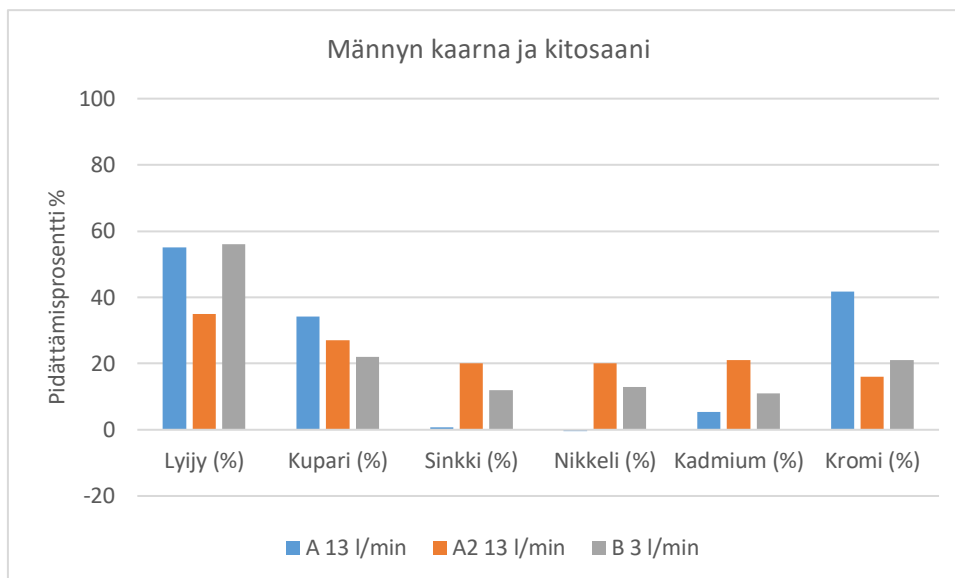
Kokeen toisessa osiossa huomattiin selviä parannuksia raskasmetallien pidätystehokkuudessa, sillä suodatinmateriaaleilla oli huomattavasti pidempi kontaktiaika keinotekoisen huleveden kanssa pienemmän virtausnopeuden ansiosta sekä tuloksiin myös vaikuttivat kokeen toisessa osiossa käytetyn keinotekoisen huleveden raskasmetallipartikkelit, liuenneiden sijasta. Erityisesti pidempi kontaktiaika ja raskasmetallien partikkelikoko tehostivat turpeen kykyä pidättää raskasmetalleja kuvion 11 mukaisesti. Kalmykovan (2008) teettämässä tutkimuksessa turve pidatti raskasmetalleja järjestyksessä  $Pb > Cu > Ni > Cd > Zn$ , joista kolme viimeistä raskasmetallia ovat pidättyneet eritehokkuudella Farren (2015) teettämään kokeen tuloksiin verrattaessa. Tämä voi johtua turpeen laatueroista, kuten hajoamisvaiheen etenemisestä, mikä vaikuttaa siinä oleviin fulvo- ja humushappoon sekä tutkimusmenetelmien eroavaisuuksista. (Farre 2015, 30-32.)





KUVIO 11. Turpeen raskasmetallien pidätyskyky kokeen toisessa osiossa kahdella suodatinkasetti konfiguraatiolla (Farre 2015)

Suodatinmateriaaleja myös yhdisteltiin, jotta nähtiin kahden erisuodatinmateriaalin yhteisvaikutus raskasmetallien pidättymisessä. Parhaimmaksi suodatinmateriaaliyhdistelmäksi osoittautui männynkaarna ja kitosaani, jotka kykenivät jopa 13 l/min virtauksessa pidättämään lyijyä, kuparia sekä kromia tehokkaasti seuraavan kuvion 12 osoittamalla tavalla. (Farre 2015, 29.) Mohanasrinivasan ym. (2014) tutkivat, kuinka äyriäisistä valmistettu kitosaani kykenee poistamaan likevsesistä kuparia, kromia, rautaa sekä sinkkiä. Tuloksien mukaan raskasmetallit pidättyivät järjestyksessä Cu>Cr>Fe>Zn. Verrattaessa tuloksia Farren (2015) tekemiin kokeisiin, 13 l/min virtaamalla männynkaarna ja kitosaani ovat hyvin samankaltaisia raskasmetallien pidättämistehon suhteen. Kitosaanissa olevat aminoryhmät kykenevät pidättämään raskasmetalleja itseensä pH-arvon ollessa neutraali. Niiden pidättämisteho kuitenkin tehostuu happamoituessa, jolloin aminoryhmät protonoituvat eli muuttuvat kationeiksi ja kykenevät lisääntyneillä positiivisilla varauksilla sitomaan raskasmetalleja itseensä vieläkin tehokkaammin. (Mohanasrinivasan, Mishra, Paliwal, Sign, Selvarajan, Suganthi & Devi 2014.) Kaikkien suodatinmateriaalien tulokset ovat liite osiossa liitteenä 1.



KUVIO 12. Männyn kaarnan ja kitosaanin pidätyskyky kolmella erisuodatinkasetti konfiguraatiolla (Farre 2015)

#### 4.4 Raskasmetallien poistaminen moottoriteiden hulevesistä, Saksa

Saksassa Karlsruhen teknologianinstituutissa toteutettiin koe yhteistyössä norjalaisen yliopiston kanssa, missä tarkasteltiin kahdentoista suodatinmateriaalin tehokkuutta raskasmetallien poistamisessa moottoriteiltä syntyvistä hulevesistä. Suodatinmateriaaleina käytettiin taulukon 11 mukaisia materiaaleja. Samalla myös selvitettiin talviaikaisten olosuhteiden vaikutus suodatinmateriaalien adsorptiokykyyn lisäämällä kloridia keinotekoisen huleveden sekaan, jolla pyrittiin imitoimaan autoteiden talviaikaista suolausta. Kokeen aikana tarkastellut raskasmetallit olivat kupari, lyijy, nikkeli ja sinkki. (Luz 2014, 1, 9.)

TAULUKKO 11. Suodatinmateriaalit ja niiden lähteet (Luz 2014)

<b>Suodatinmateriaali</b>	<b>Kuvaus</b>	<b>Lähde</b>
<b>Pohja- ja lentotuhka</b>	Raskas- ja kevyttuhka, joita syntyy palamisen yhteydessä	Heimdal in jätteenpolttolaitos
<b>Kaoliniitti</b>	Savimineraali	Sigma Aldrich
<b>Montmorilloniitti</b>	Savimineraali	Sigma Aldrich
<b>Oliviini (Blueguard® 63/120/G1-3)</b>	Oliviinista valmistettu suodatinmateriaali	Sibelco Nordic AS
<b>Keinotekoinen zeoliitti</b>	Savimineraali	Sigma Aldrich
<b>Kuusen- ja männynkaarna</b>	Kuusen ja männyn pintaa suojaava kerros	Nittedal Torvindustri AS ja Nordic garden
<b>Merilevä</b>	Meressä kasvavaa viher-, puna- sekä ruskolevää	Korsvikan ranta Trondheimissä
<b>Sahanpuru</b>	Puuteollisuudessa syntyvä sivutuote	Kjelstad
<b>Rakeinen aktiivihiihi</b>	Orgaanisesta aineksesta valmistettua hiiltä	Sigma Aldrich
<b>Rautaoksidi</b>	Punaruskea rautayhdiste	Sigma Aldrich
<b>Alumiinioksidi</b>	Harmahtavan valkoinen alumiiniyhdiste	Sigma Aldrich

Keinotekoista hulevettä valmistettiin yhteensä neljä erilaista seosta, joiden raskasmetallipitoisuudet vaihtelivat. Pitoisuudet määriteltiin mahdollisimman lähelle luonnossa esiintyvien hulevesien raskasmetallipitoisuuksia, jotka selvitettiin tutkimalla kolmen maan moottoriteillä syntyviä hulevesiä. Moottoriteiden hulevesien pitoisuudet olivat taulukon 12 mukaiset. Huleveden näytteenottomaina toimi Tanska, Englanti ja Norja. Kokeessa käytetyn keinotekoisen huleveden neljä erilaista pitoisuustasoa seuraavassa taulukossa 13. (Luz 2014, 44-45.)

TAULUKKO 12. Moottoriteiden raskasmetallipitoisuudet (Luz 2014)

Raskasmetalli	Pitoisuusalue (mg/l)
Kupari	0,001-8
Lyijy	0,003-2
Nikkeli	0,006-6
Sinkki	0,01-3

TAULUKKO 13. Keinotekoisen huleveden raskasmetallipitoisuudet (Luz 2014)

Pitoisuustaso	Lyijy (mg/l)	Kupari (mg/l)	Sinkki (mg/l)	Nikkeli (mg/l)
1	1,0	1,0	5,0	2,5
2	2,0	2,0	10,0	5,0
3	3,0	3,0	15,0	7,5
4	4,0	4,0	20,0	10,0

Jokaista suodatinmateriaalia kohden käytettiin 100 ml keinotekoista hulevettä, josta kokeen jälkeen otettiin 15 ml näyte tuloksien tarkkailua varten. Keinotekoisen huleveden pH-arvo pyrittiin pitämään 6,8-7 paikkeilla koko kokeen ajan. Suodatinmateriaalia lisättiin 100 ml keinotekoista hulevettä 10 g. Koostumukseltaan hienoimpien suodatinmateriaalien osalta oli tarpeellista lisätä joukkoon hiekkaa, jolla välttyttiin paakkuuntumiselta. Näissä suodatinmateriaaleissa hiekkaa oli 9 g ja suodatinmateriaalia 1 g. Suodatinmateriaalin lisäyksen jälkeen liuos laitettiin sekoittimeen vuorokauden ajaksi, jonka jälkeen näytteet otettiin. Neljän parhaan suodatinmateriaalin pidätystehoa kokeiltiin myös keinotekoisesa hulevedessä, jonka sekaan lisättiin kloridia taulukon 14 (TAULUKKO 14) mukaisesti. Kloridia lisättiin keinotekoiseen huleveteen, jonka pitoisuustaso oli 4. (Luz 2014, 47.)

TAULUKKO 14. Keinotekoisen huleveden kloridipitoisuus kloridin lisäämisen jälkeen (Luz 2014)

Pitoisuustaso	Suola (mg/l)
1	10
2	400
3	800
4	1200

#### 4.4.1 Suodatinmateriaalit

##### **Pohja- ja lentotuhka**

Kivihiiltä tai jätteitä polttamalla syntyy pohja- ja lentotuhkaa. Lamin (2010) mukaan tuhkien ominaisuudet voidaan luokitella fysikaalisiksi ja kemiallisiksi, joista fysikaalisia ovat partikkelikokojakauma, kosteus, puristuslujuus, läpäisevyys ja huokoisuus. Kemiallisiin ominaisuuksiin voidaan lukea koostumus, raskasmetallipitoisuus ja liukenevuus, orgaaniset ainesosat ja kloridipitoisuus. (Luz 2014, 20.)

Partikkeli halkaisija on pohjatuhkalla yleensä 50 mm ja koostumukseltaan se on hiekka- maista. Näin ollen se on paljon raskaampaa kuin lentotuhka ja siksi laskeutuu uunin pohjalle, toisin kuin lentotuhka. Lentotuhka lentää nimensä mukaisesti savukaasujen mukana. Lentotuhkan pH-arvo on vedessä ollessa 10-13, näin ollen se on vahva alkalimateriaali. Lentotuhkan pinta on negatiivisesti varautunut korkeiden pH-arvojen aikana. Sen kemialliset komponentit, joita ovat piidioksidi, alumiini-, rauta-, kalsium- ja magnesiumoksidi sekä hiili, tekevät lentotuhkasta tehokkaan adsorptio materiaalin. Myös sen fyysiset ominaisuudet, kuten huokoisuus, hiukkaskokojakauma ja pinta-ala tehostavat sen adsorptiokykyä. Lentotuhkapartikkelit ovat halkaisijaltaan yleensä 20-25 mikronia. (Luz 2014, 20-22.)

##### **Kaoliniitti, montmorilloniitti ja oliviini**

Kaoliniitilla on luonnostaan pieni negatiivinen varaus, joka johtuu siinä olevista rikkinäisistä savikristalleista. Sen ansiosta se kykenee adsorboimaan raskasmetalleja vapauttamalla vetyioneja vaihdossa. Raskasmetallien adsorptio voi tapahtua myös kaoliniitin piidioksidi ja alumiinioksidilevyllä. Kaoliniitilla on tutkittu sen kykyä adsorboida lyijyä, kadmiumia, nikkeliä ja kuparia. Tulokset osoittivat, että kaoliniitin adsorptiotehokkuus näkyi parhaiten yksittäisiä raskasmetalleja pidättäessä, mutta useampaa raskasmetallia saman-

aikaisesti adsorboidessa pidätysteho pieni. Tutkimusten aikana myös ilmeni, että kaoliiniin adsorptiokyky pieni matalampien pH-arvojen aikana, mikä pienentää kaoliiniin pinnan negatiivista varausta lisääntyneiden vetyionien takia. (Luz 2014, 23-24.)

Luonnossa montmorilloniitti esiintyy kalsiumina sekä natriumina. Se on kolmikerroksinen mineraali, jonka kussakin kerroksessa voi tapahtua rakenteellisia muutoksia, mikä vaikuttaa montmorilloniitin kerroksien varautuneisuuteen. Esimerkiksi rauta ja magnesium korvaa alumiinin ja alumiini piin. Adsorptiossa kationit siirtyvät sisempiin kerroksiin tasataksien montmorilloniitin kerroksien varauksen. (Luz 2014, 25.)

Oliviinin kykyä pidättää raskasmetalleja oli tutkinut Wium-Andersen (2012). Tutkimuksessa tarkasteltiin kahdenlaisen oliviini rakeen kykyä pidättää seitsemää raskasmetallia sekä ravinteista fosforia. Tulokset osoittivat, että heti 10 minuutin jälkeen suurimäärä raskasmetalleja oli pidättynyt oliviinin pinnalle. (Luz 2014, 26-27.) Oliviiniä ei käytetä kokeessa sellaisenaan, vaan sitä on käytetty kaupallisen Blueguard® suodatinmateriaalin valmistuksessa, joita on kokeessa käytössä kolmea erilaista taulukon 15 mukaisesti. (Luz 2014, 40.)

TAULUKKO 15. Kaupallinen Blueguard® suodatinmateriaalit ja niiden ominaisuuksia (Luz 2014)

	Partikkelijakauma (mm)			Ominaisuudet		Kemiallinen koostumus, paino (%)			
	D <sub>90</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>10</sub>	Pinta- ala (m <sup>2</sup> /g)	pH	MgO	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO
<b>Blueguard® 63</b>	0,063	0,025	0,006	8,0	8,9- 9,5	46,1	42,1	7,2	-
<b>Blueguard® 120</b>	0,125	0,044	0,007	6,0	8,9- 9,5	48,0	41,6	7,4	-
<b>Blueguard® G1-3</b>	2,5	2,5	1,0	2,0	11- 12	45,0	40,0	7,0	4,0

### Keinotekoinen zeoliitti

Zeoliitin hunajakennomainen rakenne tekee siitä erittäin huokoisen materiaalin, mikä lisää sen tehokkuutta adsorptiossa. Pitcher (2004) teki kokeen raskasmetallien pidätyskyvystä

luonnossa esiintyvällä zeoliitillä sekä keinotekoisella zeoliitillä. Raskasmetalleina toimi kupari, kadmium, lyijy ja sinkki. Tuloksien mukaan keinotekoisesti valmistettu zeoliitti kykeni pidättämään raskasmetalleja paljon tehokkaammin sen sisältämien alumiinien sekä huokoisuutensa ansiosta. (Luz 2014, 27-28.)

### **Merilevä**

Uusiutuvuutensa ja halvan hintansa ansiosta merilevä olisi kustannustehokas suodatinmateriaali. Merilevät on luokiteltu kolmeen ryhmään, joita ovat viher-, puna- sekä ruskealevä. Ruskea merilevä sisältää selluloosaa ja algiinihappoa. Se sisältää myös polymeeri komplekseja kevyiden metallien, kuten natriumin, kaliumin, magnesiumin ja kalsiumin sekä polysakkaridien kanssa. Pääsyy raskasmetallien pidättymiselle on soluseinämässä olevat algiinihappo ja polysakkaridit. Ioninvaihto tapahtuu merilevässä olevien kevyiden metallien välityksellä. (Luz 2014, 32-33.)

### **Sahanpuru**

Puuteollisuudesta syntyy sivutuotteena sahanpurua, jota voidaan hyödyntää raskasmetallien poistamiseen hulevesistä niissä olevien ligniinin, selluloosan ja hemiselluloosa polyfenolisten ryhmien avulla. Taty-Costodes (2003) tutkivat sahanpurun kykyä adsorboida kadmiumia ja lyijyä, hyödyntämällä männyn rikkihapolla ja formaldehydillä käsiteltyä sekä käsittelemätöntä purua. Tulokset osoittivat, ettei käsitellyn ja käsittelemättömän purun välillä ollut juurikaan eroja. Ainoastaan COD eli kemiallinen hapenkulutus oli pienempää käsiteltyjen purujen osalta. Paras adsorptiokyky saavutettiin pH-arvon ollessa 5,5. (Luz 2014, 30-31.)

Sahanpurun kyky pidättää raskasmetalleja perustuu siinä oleviin karboksyyli ja polyfenolien hydroksyyliyhmiin. Funktionaalisten ryhmien happi kykenee muodostamaan kaksoismuotoja sekä komplekseja metalli-ionien kanssa. Sahanpuru sitoo itseensä metallioneja myös ioninvaihdolla. (Luz 2014, 30-31)

### **Rakeinen aktiivihiili**

Hiilipohjaisista materiaaleista, kuten puusta, turpeesta ja ruskeasta hiilestä voidaan valmistaa aktivoituhiiltä. Hiilenaktivointi voidaan toteuttaa kaasui- tai kemiallisella aktivoinnilla. Aktiivihiilen raskasmetallien pidättämiskyky riippuu täysin sen valmistusprosessista eli mistä se on valmistettu ja miten se on aktivoitu. Yleensä vesihuollossa käytetty aktiivihiili on pinta-alaltaan 500-1500 m<sup>2</sup>/g. Rakeisessa aktiivihiilessä on mikro, meso ja makro huokosia. Raskasmetallien pidättyminen tapahtuu mikro ja meso huokoisissa, jotka ovat koko luokaltaan alle 1 nm ja 1-20 nm. (Luz 2014, 35-36.)

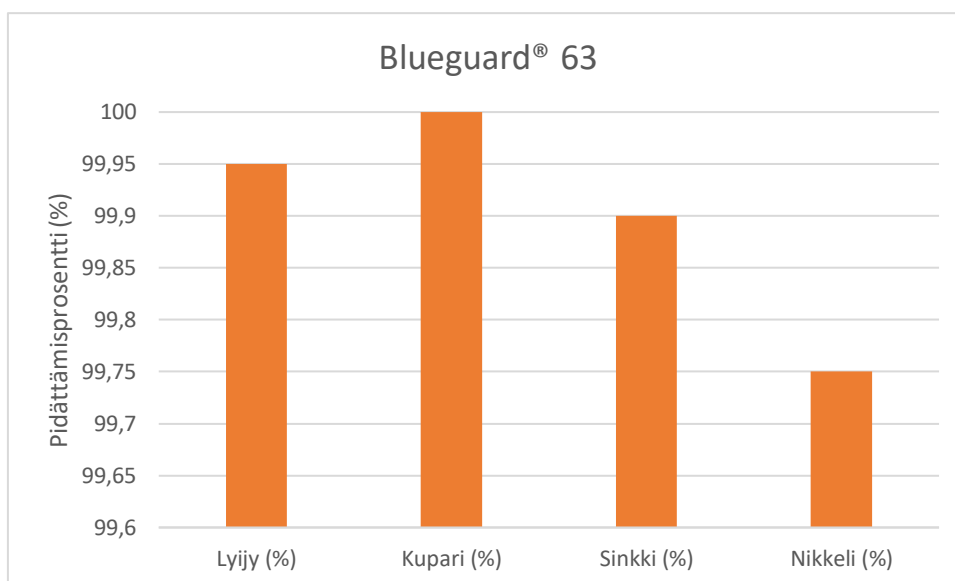
## Rauta- ja alumiinioksidi

Rautaoksidi on väriltään punaruskeaa ja sen partikkelit ovat ryhmittyneet ja yhdistyneet toisiinsa. Alumiinioksidin pinta on hyvin tasainen ja se on väriltään harmahtavan valkoista. Sen partikkelit ovat neulamaisessa muodossa. Metallioksidit eivät ole liukoisia neutraaleissa liuoksissa, mutta happamissa liuoksissa ne liukenevat helposti amfoteeristen ominaisuuksiensa vuoksi. Jeong (2007) tutki, kuinka rauta- ja alumiinioksidi kykenee pidättämään arsenikkia. Tuloksien perusteella sopivin pH-arvo oli 6 rauta- sekä alumiinioksidille. Rautaoksidi on pinta-alansa ansiosta tehokkaampi raskasmetallien adsorptiossa. (Luz 2014, 35.)

### 4.4.2 Tulokset

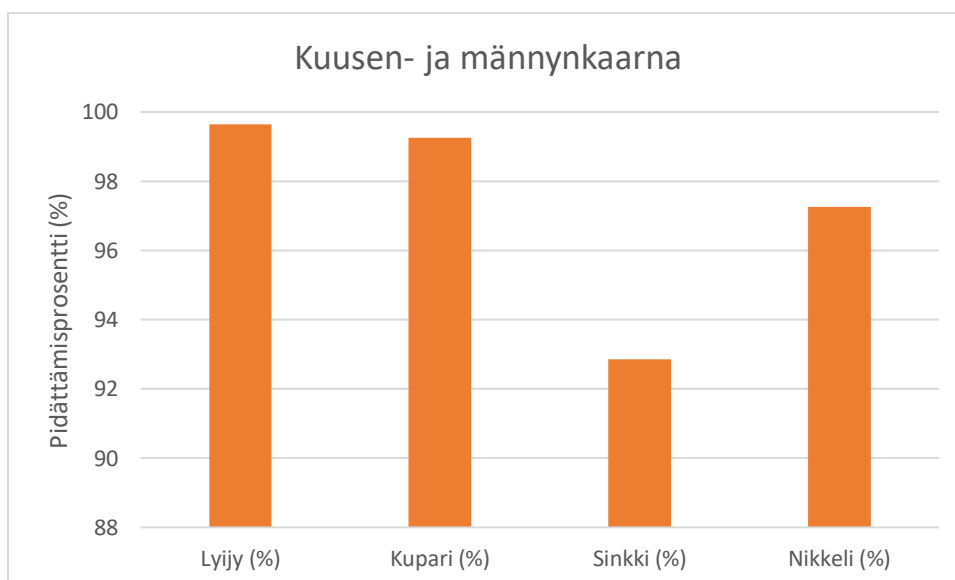
Oliiviinia sisältävä Blueguard® 63 osoittautui Luzin (2014) teettämässä kokeessa hyvin tehokkaaksi suodatinmateriaaliksi sen raskasmetallien pidättämiskyvyn vuoksi, kuten kuvio 13 (KUVIO 13) voidaan huomata. Todellisuudessa se ei kuitenkaan välttämättä toimi sellaisenaan suodatinmateriaalina, sillä se on erittäin hienojakoista, joten se saattaa aiheuttaa tukkeutumisia. (Luz 2014, 63.) Blueguard® 63 tehokkuus perustuu sen sisältämään oliiviiniin, jonka kiteinen rakenne sitoo pääosin kemiallisesti raskasmetalleja itseensä. Oliiviini kykenee myös neutraloimaan happamia liuoksia, jolloin raskasmetallien pidättämiskyky tehostuu pH-arvon noustessa. Sibelcon (2014) teettämän tutkimuksen mukaan Blueguard® 63 pidättää raskasmetalleja järjestyksessä Zn>Pb>As>Cu>Cd>Ni, joita verrattaessa Luzin (2014) tekemään tutkimukseen voidaan huomata selviä eroja. Tuloksissa huomattavat erot voivat kuitenkin johtua koemenettelyiden eroavaisuudesta, kuten raskasmetallien pitoisuuksista. (Sibelco 2014.)





KUVIO 13. Blueguard® 63 raskasmetallien pidättämisprosentti (Luz 2014)

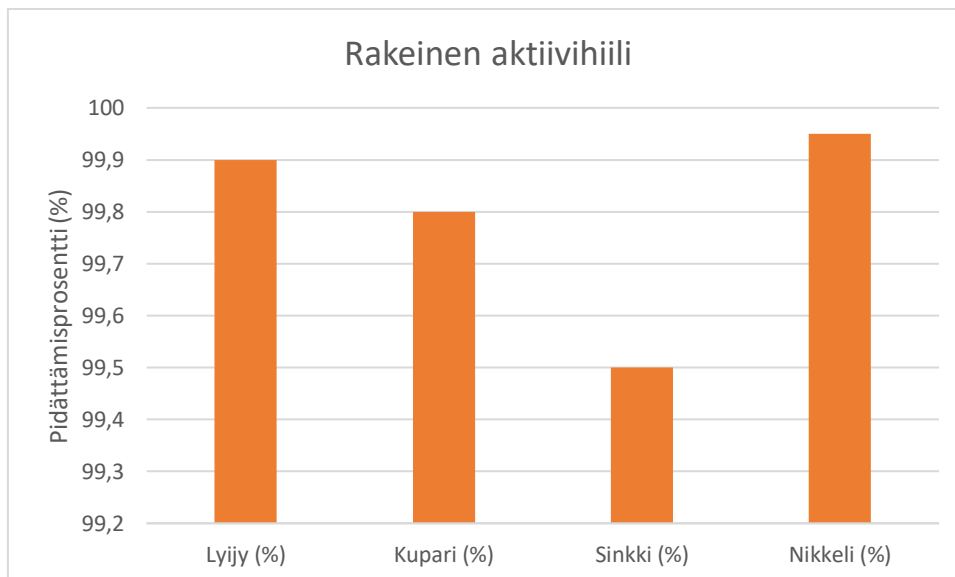
Sen sijaan, että Luz (2014) olisi tarkkaillut pelkästään männyn kaarnan tehokkuutta raskasmetallien pidättämisessä, päätettiin joukkoon lisätä myös kuusen kaarna. Verrattessa Farren (2015) teettämään kokeeseen, kuvion 14 tulokset kaarnan raskasmetallien pidättämiskyvystä ovat huomattavasti parempia. Tuloksien vaihtelu johtuu todennäköisimmin koemenettelyjen eroavaisuudesta, kuten pidemmästä kontaktiajasta suodatinmateriaalin kanssa. (Luz 2014, 66.)



KUVIO 14. Kuusen- ja männyn kaarnan raskasmetallien pidättämisprosentti (Luz 2014)

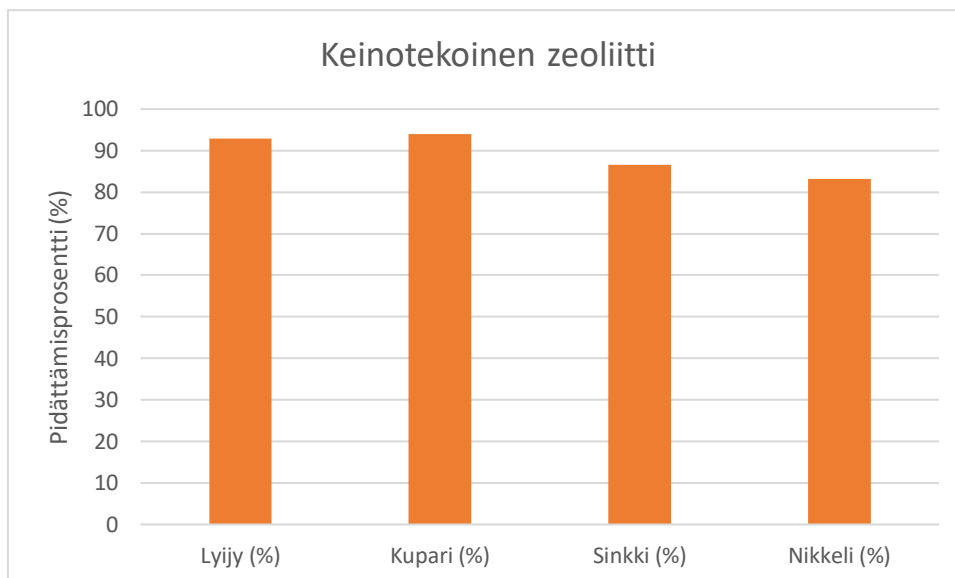
Kuten kuviosta 15 (KUVIO 15) voi huomata, rakeinen aktiivihiili oli erittäin tehokas raskasmetallien pidättämisessä. Kaikkien raskasmetallien osalta tulokset osoittavat yli 99 % pi-

dättämistehokkuutta. (Luz 2014, 70.) Aktiivihiilen toiminta perustuu Van der Waalsin voimiin sekä indusoituihin dipolivuorovaikutuksiin, jotka tarkoittava fyysistä adsorptiota. Suuren pinta-alansa ansiosta raskasmetallit tarttuvat helposti aktiivihiilen pinnalle fyysisen adsorption vaikutuksesta. (Nowicki 2016.)



KUVIO 15. Rakeisen aktiivihiilen raskasmetallien pidättämisprosentti (Luz 2014)

Tuloksien mukaan keinotekoinen zeoliitti on kuvion 16 mukaisesti tehokas materiaali raskasmetallien pidättämisessä. On kuitenkin huomioitavaa, että sen kyky pidättää raskasmetalleja parantui konsentraation kasvaessa. Adsorptio perustuu todennäköisesti ioninvaihtoon, sillä tutkimuksen aikana keinotekoiseen huleveden natrium ja kalium konsentraatiot kasvoivat. Toisaalta, Pitcher (2004) teettämän tutkimuksen mukaan keinotekoisesta zeoliitista raskasmetallien pidättämiskyky oli hyvin suuri myös pienempien konsentraatioiden aikana. (Luz 2014, 60.) Kaikkien suodatinmateriaalien mittaustulokset ovat liiteosiossa liitteenä 2.



KUVIO 16. Keinotekoisien zeoliittien raskasmetallien pidättämisprosentti (Luz 2014)

Neljän parhaan suodatinmateriaalin kykyä pidättää raskasmetalleja talvisissa olosuhteissa tiesuolauksen aikana kokeiltiin myös lisäämällä kloridia keinotekoiseen huleveteen. Taulukosta 16 voi nähdä, kuinka lähes kaikki suodatinmateriaalit kykenivät pidättämään raskasmetalleja samalla teholla kuin ilman kloridia. Kloridi vaikutti selvästi ainoastaan kuusen- ja männynkaarnaan, jonka pidättämisteho heikkeni. Pidätyskyvyn lisäksi tarkasteltiin, kuinka paljon kloridiliuos vaikuttaa suodatinmateriaalien kykyyn pitää raskasmetallit itsessään ilman että tapahtuu desorptiota eli ne vuotavat takaisin keinotekoiseen huleveteen. Raskasmetallien desorptio tulokset näkyvät taulukossa 17. (Luz 2014, 75-77.) Todennäköisesti kuusen- ja männyn kaarnan pidättymistehon heikkeneminen johtuu sen vapauttamasta tanniinista, joka laskee keinotekoisesta huleveden pH-arvoa ja tekee raskasmetalleista liukoisempia aiheuttaen samalla pidättyneiden raskasmetallien desorptiota. Liuenneet raskasmetallit ovat positiivisesti varautuneita, jolloin ne pyrkivät kiinnittymään negatiivisesti varautuneeseen kloridiin. (Biomi 2018.)

TAULUKKO 16. Kloridin vaikutus raskasmetallien pidättämiskykyyn (Luz 2014)

	Lyijy (%)	Kupari (%)	Sinkki (%)	Nikkeli (%)	pH
<b>Blueguard® 63</b>	99,9-100	100	99,9-100	99,6-100	9,3-9,7
<b>Rakeinen aktiivihiili</b>	99,9	99,9-100	99,9	100	9,7-10,7
<b>Kuusen- ja männyn-kaarna</b>	99,2- 99,3	98,7-98,8	88,4-94,1	91,8-95,2	5,1-5,3
<b>Keinotekoinen zeoliitti</b>	99,2- 99,4	99,4-99,6	98,7-99,4	99,7-99,8	10,9- 11,1

TAULUKKO 17. Kloridin vaikutus suodatinmateriaalien desorptioon (Luz 2014)

	Lyijy (µg/l)	Kupari (µg/l)	Sinkki (µg/l)	Nikkeli (µg/l)	pH
<b>Blueguard® 63</b>	0	0	0	0,0006- 0,0009	9,6
<b>Rakeinen aktiivihiili</b>	0,0-0,0002	0,0001- 0,0013	0,0- 0,0091	0,0033- 0,009	9,3- 10,1
<b>Kuusen- ja männyn-kaarna</b>	0,004- 0,0079	0,0127- 0,0218	0,407- 0,543	0,1443- 0,190	4,7-5,2
<b>Keinotekoinen zeoliitti</b>	0,0007- 0,0049	0,0036- 0,0074	0,0- 0,0285	0,0038- 0,0122	10,8- 11,1

#### 4.5 Suodatinmateriaalien tehokkuus ja loppusijoittaminen

Tarkasteltaessa tutkimuksissa parhaiten raskasmetalleja pidättäneitä suodatinmateriaaleja voidaan todeta, että oleellisimpia pidättämistehokkuuteen vaikuttavia ominaisuuksia ovat suodatinmateriaalien pinta-ala, pH-arvo sekä vedenjohtavuus. On myös tärkeää huomioida, että huleveden kontaktiaika suodatinmateriaalin kanssa vaikuttaa myös selvästi raskasmetallien pidättymiseen. Suuripinta-alaisilla materiaaleilla on huokoinen pinta, jossa on paljon tilaa hulevesissä olevien raskasmetallien adsorptiolle. Hulevesien ollessa emäksisiä, raskasmetallit ovat ei-liukoisessa muodossa ja näin ollen pidättyvät tehokkaammin

suodatinmateriaalien pinnalle. Raskasmetallit ovat liukoisempia hulevesien ollessa happamia, joka vaikuttaa esimerkiksi kaarnan osalta negatiivisesti sen kykyyn pidättää raskasmetalleja. Happamuus myös aiheuttaa kaarnassa sekä mahdollisesti muissa suodatinmateriaaleissa desorptiota. Toisaalta kitosaanin raskasmetallien pidättämiskyky tehostuu happamoitumisen yhteydessä aiheutuvasta aminoryhmien protonoitumisesta eli pH-arvon vaikutus riippuu paljolti suodatinmateriaalista ja sen ominaisuuksista. Kuoppamäen (2019) mukaan liiallista desorptiota voidaan välttää esimerkiksi suodatinmateriaalin kalkki- ja rautakäsittelyllä (Kuoppamäki 2019). Vedenjohtavuudella vältetään suodatinmateriaalin tukkeutuminen, jolloin vesi jää suodattimen sisälle. Auvisen (2019) mukaan huonosti vettä johtavat suodatinmateriaalit voivat aiheuttaa routimista. (Auvinen 2019.)

Suodatinmateriaalien pidättämistehokkuuden lisäksi on tärkeää huomioida niiden käytön jälkeinen uudelleenaktivointi tai loppusijoittaminen. Suodatinmateriaalien uudelleenkäyttäminen riippuu siitä, onko käytettyä suodatinmateriaalia mahdollista puhdistaa joitakin menetelmiä hyödyntäen. Esimerkiksi aktiivihiihen uudelleenaktivointia tutkinut Hannola (2007) toteaa tutkimuksessaan, että aktivoimalla aktiivihiihi uudestaan saadaan sen adsorptiokyvystä palautettua noin 90-95 %. Tosin prosessissa menetetään muutama prosentti aktiivihiihen massasta. Uudelleenaktivointi vaatii suuria lämpötiloja, jotka ovat noin 820-950 °C. (Hannola 2007, 25.) Loppusijoittaminen riippuu paljolti suodatinmateriaalin koostumuksesta. Orgaaninen aines on biohajoava materiaali, jolloin sen voidaan antaa esimerkiksi maatua. Auvisen (2019) mukaan käytettyä suodatinmateriaalia voidaan käyttää myös viherrakentamisessa. Biohajoavan aineen sisältämien haitta-ainepitoisuuksien täytyy kuitenkin olla riittävän matalia, jotta ne eivät kulkeudu pohjavesiin ja vesistöihin. (Auvinen 2019). Maatuessa mikrobitoiminta pääsee muuttamaan raskasmetallit vaarattomaan muotoon. Raskasmetallien muuttamista vaarattomaksi mikrobitoiminnan avulla kutsutaan fyto-remediaatioksi. (Tangahu, Abdullah, Basri, Idris, Anuar & Mukhlisin 2011.) Loppusijoittaminen voidaan toteuttaa myös polttamalla käytetty suodatinmateriaali, jolloin sen tilavuus pienenee muuttuessa tuhkaksi. Tuhka voidaan sijoittamaan haitallisia jätteitä vastaanottavalle kaatopaikalle. (Takainen 2013.)

## 5 BIOSUODATTIMEN SUUNNITTELU JA KUNNOSSAPITO

### 5.1 Aluevaatimukset

Biosuodattimet eivät yksittäisinä kykene käsittelemään suurien valuma-alueiden hulevesiä. Siksi on tärkeää sijoittaa useampi biosuodatin hajautetusti, jolla voidaan välttää suodattimien ylikuormitus ja tukkeutuminen. Yhdellä suodattimella voidaan keskimäärin käsitellä 0,8 hehtaarin kokoiselta alueelta muodostuvat hulevedet. Tämä tietenkin riippuu paljolti suodattimen kokoluokasta. Tilantarpeen osalta hulevesisuodattimet ovat pieniä ja piilossa maanalla, joten lähes mikä tahansa alue on sopivan kokoinen niiden asennusta varten. (Drescher, Ellis, Hoffmann, Keppler, LaRocco & Allen 2014.)

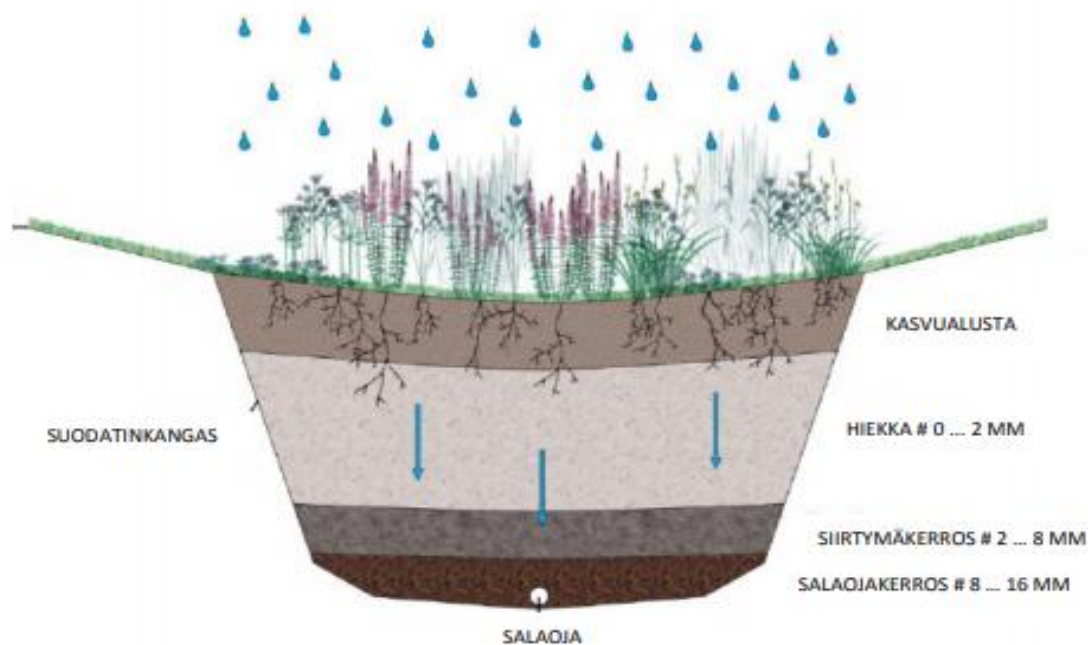
Huolto on tärkeä osa hulevesisuodattimien toimivuutta, joten hulevesisuodatin tulee olla sijoitettuina alueella, johon pääsee mahdollisimman helposti tekemään tarvittavat huolto- toimenpiteet parhaimman mahdollisen suodatustehokkuuden takaamiseksi. Yleisen toimivuuden kannalta suodattimia ei pidä asentaa sijainnille, joissa kaltevuus on enemmän kuin 6 %. (Drescher, ym. 2014.) Lahden kaupungilla ympäristöpalveluissa projektipäällikkönä toimiva Järveläinen (2018) kertoo, että biosuodattimen sijoittamisen osalta on tärkeää tietää valuma-alueen ominaisuudet, kuten valuma-alueen koko, maaperän imeytyskyky sekä pohjaveden sijainti alueella. On myös tärkeää ottaa huomioon alueen muu käyttö, jotta tiedetään että soveltuuko biosuodatin mahdollisesti alueella olevan muun vihreän infran osaksi. Lopuksi täytyy pohtia, tarvitseeko biosuodatin ympärilleen jonkinlaisen suojaavan rakenteen. (Järveläinen 2018.) Vantaan kaupungilla toimiva hulevesiasiantuntija Auvinen (2019) kertoo lisäksi haastavan maaperän ja korkean pohjavedenpinnan vaikuttavan biosuodattimen suunnitteluun ja asennukseen. Biosuodattimen tulee olla valuma- aluetta alempana, jotta veden kulkeutuminen biosuodattimeen voidaan toteuttaa ilman pumppaamista. (Auvinen 2019.)

### 5.2 Rakenne

Rakenteeltaan biosuodattimet koostuvat yksinkertaisimmillaan kasvualustasta, suodatin- kankaasta ja karkeasta maa-aineksesta, joka toimii suodatinmateriaalina sekä siirtymä- ja salaojakerroksesta kuvion 17 mukaisesti. Auvisen (2019) mukaan salaojakerroksen lisäksi on asennettava pohjavesieriste (Auvinen 2019). Salaojakerros ei ole välttämätön, jos maaperä on riittävästi vettäläpäisevää ja hulevedet ovat riittävän puhtaita imeytettäväksi pohjavesialueella. Ilman salaojaputkea vesi imeytyy maaperään lisäten pohjaveden määrää. Imeytyminen on tärkeää alueilla, joissa on paljon vettä läpäisemättömiä pintoja vähentämässä pohjaveden muodostumista. Kasvualusta on noin 0,7-1 m paksu ja sen

päällä on kasvukerros kasveja varten. Kasvualustan materiaalin on oltava riittävän karkeaa, jotta vesi pääsee kulkeutumaan sen läpi. Kasvien juuret pitävät kasvualustan myös huokoisena. (Kasvio, ym. 2016.) Auvinen (2019) lisää että biosuodatin tulee perusmitoituksen mukaan mitoittaa niin että se kykenee suodattamaan 150 l/s/ha. Tulvatilanteessa sen tulisi olla 167 l/s/ha. (Auvinen 2019.)

Biosuodatusaluetta suunniteltaessa on tarkasteltava, että mitä sillä halutaan tehdä pelkän suodattamisen lisäksi. Biosuodattaessa voidaan vähentää hulevesien virtaaman aiheuttamaa eroosiota sopivalla viivytystilavuudella, estää tulvien syntymistä, varmistaa pohjaveden synty alueella tai poistaa tehokkaasti haitta-aineita erilaisia suodatinmateriaaleja hyödyntämällä ja soveltamalla. (Kasvio, ym. 2016.)



KUVIO 17. Havainnollistava kuva biosuodattimen rakenteesta (Kasvio, ym. 2016)

### 5.3 Kunnossapitäminen

Biosuodattimet vaativat toimiakseen tarkkoja kunnostustoimia. Järveläisen (2018) mukaan huoltotoimenpiteiden ajankohtaisuus riippuu paljolti valuma-alueen ominaisuuksista, jotka vaikuttavat valumavesien laatuun. Myös suodattimen rakenteelliset ratkaisut, kuten tukkeutuva suodatinkangas sekä kasvillisuuden huoltoluokitus eli niiden tarvitsemat huoltovälit vaikuttavat huoltotoimenpiteiden ajoitukseen. Hyvin karkeasti arvioituna kasvillisuus vaatii niittoa noin 2-3 kertaa vuoden aikana ja suodatinmateriaalien uusiminen tehdään noin 5-15 vuoden välein. (Järveläinen 2018.) Auvisen (2019) mukaan biosuodattimet vaativat silmämääräisen tarkastuksen kerran vuodessa ja pitkäaikaishuollon noin viiden vuoden välein (Auvinen 2019).

Suodatinmateriaalin tukkeutuminen voi johtua roskien kertymisestä suodattimeen tai suodatinmateriaalin päälle muodostuvasta kalvomaisesta pinnasta, jonka vedenläpäisykyky on heikko ja joka sisältää normaalisti suuria haitta-ainemääriä. Tukkeutuminen on huomattavissa veden allastumisesta, joka voi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa tulvimista, jos suodatinmateriaali ei kykene suodattamaan vettä sadetapahtumien välillä riittävän nopeasti. Veden allastumisen lisäksi biosuodattimen huoltotarpeen voi havaita kasvien kuolleisuudesta, hyönteisten ja hajun aiheuttamasta haitasta sekä kiintoaineen kertymisestä suodattimeen. (Kasvio, ym. 2016, 24)



## 6 YHTEENVETO

Hulevesien hallintamenetelmien kehittäminen on hyvin ajankohtaista, sillä kaupungistumisen myötä pintavalunta on vettä läpäisemättömien pintojen vuoksi lisääntynyt, mikä myös lisää haitta-aineiden kulkeutumista vesistöihin ja pohjavesiin. Näin ollen olisi hyvin tärkeää keskittyä huleveden laadun parantamiseen ja määrän vähentämiseen jo hulevesien muodostumispaikalla, jotta voidaan välttyä suurimmilta haitta-ainekertymiltä, joita pintavalunnan myötä syntyy. Biosuodattimet ovat yleisimpiä hulevesien hallintamenetelmiä maailmalla. Ne kykenevät kasvien ja mikrobitoiminnan avulla hyödyntämään hulevesissä olevia ravinteita sekä suodattavat raskasmetalleja sekä muita haitta-aineita. Aikaisemmin on käytetty pelkkää hiekkaa tai muuta karkeaa maaperää suodatinmateriaalina, mutta uusien tutkimuksien myötä on haluttu selvittää, mitä muita vaihtoehtoisia suodatinmateriaaleja voisi olla olemassa.

Opinnäytetyössä tarkasteltiin kahta erilaista tutkimusta suodatinmateriaalien kyvystä pidättää hulevesissä esiintyviä raskasmetalleja. Tutkimusten perusteella tehokkaimmiksi suodatinmateriaaleiksi osoittautui turve, Blueguard® 63, rakeinen aktiivihili, kuusen- ja männyn kaarna sekä keinotekoinen zeoliitti. Tutkimuksien tuloksiin tulee kuitenkin suhtautua varauksellisesti, sillä molemmat tutkimukset toteutettiin hyvin erilaisin menetelmin sekä raskasmetallipitoisuuksin, mikä aiheuttaa selviä eroavaisuuksia kokeiden lopputuloksissa. Näin ollen olisi tärkeää tehdä jatkotutkimuksia edellä mainittujen suodatinmateriaalien osalta ei-laboratorio-olosuhteissa, jotta nähdään kunkin suodatinmateriaalin todellinen potentiaali raskasmetallien ja ravinteiden pidättämisessä hulevesistä. Kuusen- ja männynkaarnan osalta olisi myös syytä tarkastella, kuinka sen pidättämisteho muuttuu lisäämällä siihen kitosaania sekä käsittelemällä se urealla. Kitosaani hyötyy kaarnan aiheuttamasta happamoitumisesta sekä lyhyt urealla käsittely parantaa mahdollisesti kaarnan pidättämistehoa.

Suodatinmateriaalien tehokkuuden lisäksi olisi tärkeää myös tutkia, miten ne voidaan käsitellä uudelleenkäyttöä varten tai loppusijoittaa ilman ympäristölle aiheutuvia haittoja. Esimerkiksi kuumentamalla aktiivihiltä voidaan palauttaa noin 90-95 % sen adsorptiokyvystä. Orgaanisen aineen osalta voidaan hyödyntää maatumista ja fytoremediaatiota tai mahdollisesti polttamista ennen loppusijoittamista haitallisia jätteitä vastaanottavalle kaatopaikalle.

## LÄHTEET

Ahponen, H. 2005. Luonnonmukaisten hulevedenkäsittelymenetelmien ja aluesuunnittelun keinoin kohti parempaa taajamahydrologiaa [viitattu 29.11.2018]. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/40647>

Al-Asheh, S & Duvnjak, Z. 1997. Sorption of cadmium and other heavy metals by pine bark [viitattu 14.12.2018]. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030438949700040X>

Alemayehu, E & Lennartz, B. 2010. Adsorptive removal of nickel from water using volcanic rocks [viitattu 14.12.2018]. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0883292710001848>

Auvinen, A. 2019. Hulevesiasiantuntija. Vantaa. Haastattelu 8.1.2019

Biomi. 2018. Ympäristömyrkyt [viitattu 12.12.2018]. Saatavissa: <https://www.biomi.org/biologia/ymparistomyrkyt/>

Byju's. 2018. What is Adsorption [viitattu 6.12.2018]. Saatavissa: <https://byjus.com/chemistry/adsorption-intensification-on-surface-area/>

Center for Watershed Protection. 2007. Urban Stormwater Retrofit Practices [viitattu 5.12.2018]. Saatavissa: <https://owl.cwp.org/mdocs-posts/urban-subwatershed-restoration-manual-series-manual-3/>

Chromatography. 2014. Adsorption, absorption and desorption – What's the Difference [viitattu 6.12.2018]. Saatavissa: [https://www.chromatographytoday.com/news/hplc-uhplc/31/breaking\\_news/adsorption\\_absorption\\_and\\_desorption\\_whats\\_the\\_difference/31397](https://www.chromatographytoday.com/news/hplc-uhplc/31/breaking_news/adsorption_absorption_and_desorption_whats_the_difference/31397)

Contech. 2018. Stormwater Treatment for the Most Challenging Pollutants [viitattu 4.12.2018]. Saatavissa: <https://www.conteches.com/Stormwater-Management/Treatment/Stormwater-Management-StormFilter>

Drescher, S., Ellis, K., Hoffmann, G., Keppler, B., Turner, A., LaRocco, M. & Allens, W. 2014. Low Impact Decelopment in Coastal South Carolina: A Planning and Design Guide [viitattu 12.12.2018]. Saatavissa: [http://www.scseagrant.org/pdf\\_files/LID-in-Coastal-SC-low-res.pdf](http://www.scseagrant.org/pdf_files/LID-in-Coastal-SC-low-res.pdf)

Elo, M. 2018. Hulevesien hallintarakenteet [viitattu 29.11.2018]. Saatavissa: <http://kaupunkitilaohje.hel.fi/kortti/hulevesien-hallintarakenteet/>

- Farre. 2015. Removal of heavy metals from urban stormwater runoff by filtration through different filter materials [viitattu 5.12.2018]. Saatavissa: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/222678/222678.pdf>
- FCG. 2008. Ruskon asemakaavojen hulevesiselvitys [viitattu 30.11.2018]. Saatavissa: <https://docplayer.fi/55869602-Ruskon-aseamakaavojen-hulevesiselvitys.html>
- Filtrexx. 2018. Filtrexx Stormexx [viitattu 4.12.2018]. Saatavissa: <https://www.filtrexx.com/en/products/stormexx>
- Fluence. 2016. What Is Ion Exchange [viitattu 6.12.2018]. Saatavissa: <https://www.fluencecorp.com/what-is-ion-exchange/>
- Genç-Fuhrman, H., Wu, P., Zhou, Y., Ledin, A. 2008. Removal of As, Cd, Cr, Cu, Ni and Zn from polluted water using an iron based sorbent [viitattu 14.12.2018]. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916408001689>
- Global energy and water solution. 2018. Ion exchange system [viitattu 6.12.2018]. Saatavissa: <http://gewes.co.in/ion-exchange-system/>
- Hannola, T. 2007. Aktiivihielessä etenevän adsorptiorintaman mittaaminen puolijohdekaasuantureiden avulla [viitattu 27.12.2018]. Saatavissa: <https://core.ac.uk/download/pdf/39916998.pdf>
- Häkkinen, I. 2012. Katuympäristön suunnitteluopas. s.72-73. Tammerprint Oy.
- Ilmatieteenlaitos. 2012. Ilmastollinen vertailukausi 1981-2010 [viitattu 27.11.2018]. Saatavissa: <https://ilmatieteenlaitos.fi/ilmastollinen-vertailukausi-1981-2010>
- Ilmatieteenlaitos. 2018. Lämpötila- ja sadetilastoja vuodesta 1961 [viitattu 13.12.2018]. Saatavissa: <https://ilmatieteenlaitos.fi/tilastoja-vuodesta-1961>
- Imbrium. 2018. Jellyfish filter [viitattu 4.12.2018]. Saatavissa: <http://www.imbriumsystems.com/stormwater-treatment-solutions/jellyfish-filter>
- Jeong, Y. 2007. Evaluation of iron oxide and aluminum oxide as potential arsenic adsorbents [viitattu 14.12.2018]. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S025527010700181X>
- Jyväskylä. 2018. Eerolanpuron kosteikko [viitattu 30.11.2018]. Saatavissa: <https://www.jkl.fi/puistot/eerolanpuronkosteikko>
- Järveläinen. 2017. Hybridiratkaisuja hulevesien hallintaan [viitattu 13.12.2018]. Saatavissa: <https://www.uponor.fi/innovaatiot/referenssit/hulevesipilotti-lahti>

Järveläinen, J. 2018. Projektipäällikkö. Lahti. Haastattelu, 10.12.2018

Kajanus, M. 2010. Ojalan osayleiskaavan hulevesiselvitys [viitattu 29.11.2018]. Saatavissa: <https://docplayer.fi/41199940-Ojalan-osayleiskaavan-hulevesiselvitys-vaihe-1.html>

Kalmykova, Y., Strömvall, A., Steenari, B. 2008. Adsorption of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn on Sphagnum peat from solutions with low metal concentrations [viitattu 14.12.2018]. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389407010898>

Kasvio, P., Ulvi, T., Koskiahho, J. & Jormola, J. 2016. Kosteikkojen ja biosuodatusalueiden toimivuus hulevesien käsittelyssä [viitattu 4.12.2018]. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/160201>

Kardam, A., Rohit Raj, K., Srivastava, S. & Srivastava, M. 2014. Nanocellulose fibers for biosorption of cadmium, nickel, and lead ions from aqueous solution [viitattu 14.12.2018]. Saatavissa: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-013-0634-2>

Kavio, P., Ulvi, T., Koskiahho, J., Jormola, J. 2016. Kosteikkojen ja biosuodatusalueiden toimivuus hulevesien käsittelyssä [viitattu 10.12.2018]. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/160201/SYKEra\\_7\\_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/160201/SYKEra_7_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Kettunen, H. 2017. Suunnitelmaselostus: Malmin lentokenttäalueen vesihuolto, hulevedet ja yleiskatsaus [viitattu 28.11.2018]. Saatavissa: <http://longinoja.fi/2017/07/suunnitelmaselostus-malmin-lentokenttaalueen-vesihuolto-hulevedet-yleistasaus/>

Khokhotva, O. 2010. Adsorption of heavy metals by a sorbent based on pine bark [viitattu 15.12.2018]. Saatavissa: [https://www.researchgate.net/publication/227324385\\_Adsorption\\_of\\_heavy\\_metals\\_by\\_a\\_sorbent\\_based\\_on\\_pine\\_bark](https://www.researchgate.net/publication/227324385_Adsorption_of_heavy_metals_by_a_sorbent_based_on_pine_bark)

Kostel, J. 2014. Nutrient removal [viitattu 27.12.2018]. Saatavissa: <http://www.wetlands-initiative.org/nutrient-removal/>

Kotola, J., Nurminen, J. 2003. Kaupunkialueiden hydrologia – Valunnan ja ainehuuhtouman muodostuminen rakennetuilla alueilla [viitattu 27.11.2018]. Saatavissa: <https://docplayer.fi/15866002-Kaupunkialueiden-hydrologia-valunnan-ja-ainehuuhtouman-muodostuminen-rakennetuilla-alueilla.html>

Kotola, J., Nurminen, J. 2005. Kaupunkirakentamisen hydrologiset vaikutukset [viitattu 26.11.2018]. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/40647>

Kuntaliitto. 2012. Hulevesiopas 2012 [viitattu 26.11.2018]. Saatavissa: [http://shop.kuntaliitto.fi/product\\_details.php?p=2714](http://shop.kuntaliitto.fi/product_details.php?p=2714)

Kuntaliitto. 2017a. Haja-asutuksen jätevedet [viitattu 28.11.2018]. Saatavissa: <https://www.kuntaliitto.fi/asiantuntijapalvelut/yhdyskunnat-ja-ymparisto/tekniikka/yhdyskunnat-ja-ymparisto/vesihuolto/haja-asutuksen-jatevedet>

Kuntaliitto. 2017b. Hulevesien hallinta [viitattu 28.11.2018]. Saatavissa: <https://www.kuntaliitto.fi/asiantuntijapalvelut/yhdyskunnat-ja-ymparisto/tekniikka/hulevesien-hallinta>

Kuoppamäki, Kirsi. 2019. Dosentti. Helsingin yliopisto. Haastattelu, 14.1.2019

Lam, C. 2010. Use of Incineration MSW Ash: A Review [viitattu 14.12.2018]. Saatavissa: <https://www.mdpi.com/2071-1050/2/7/1943>

Lapin ELY-keskus. 2018. Raskasmetallit [viitattu 10.12.2018]. Saatavissa: <http://www.pasvikmonitoring.org/suomi/raskasmetallit.html>

Levan, D., Carta, G., Yon, C. 1999. Adsorption and Ion Exchange [viitattu 6.12.2018]. Saatavissa: <ftp://ftp.feq.ufu.br/Claudio/Perry/DOCS/Chap16.pdf>

Lindström, S. 2015. Hydrologinen kierto [viitattu 27.11.2018]. Saatavissa: [http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/lukio/ge/ge1/4\\_vesikeha\\_eli\\_hydrosfaari/01?C:D=iPT6.iLSC](http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/lukio/ge/ge1/4_vesikeha_eli_hydrosfaari/01?C:D=iPT6.iLSC)

Luz, M. 2014. Removal of Dissolved Pollutants from Highway Stormwater with Low-cost Adsorbents [viitattu 14.12.2018]. Saatavissa: <https://daim.idi.ntnu.no/masteroppgaver/012/12265/masteroppgave.pdf>

Maisemabetoni. 2018. Hulevesien hallinta [viitattu 3.12.2018]. Saatavissa: <https://maisemabetoni.fi/fin/paallysteen-suunnittelu/toiminnallinen-suunnittelu/hulevesien-hallinta/>

Minnesota pollution control agency. 2012. Stormwater ponds [viitattu 30.11.2018]. Saatavissa: [https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php?title=File:Picture\\_of\\_a\\_wet\\_pond\\_2.jpg](https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php?title=File:Picture_of_a_wet_pond_2.jpg)

Mäyränpää, R. 2012. Seudullinen pohjaveden suojelusuunnitelma vuosille 2012-2021. Hollola-Lahti-Nastola.

Nowicki, H., Nowicki, G. 2016. The basics of activated carbon adsorption [viitattu 17.12.2018]. Saatavissa: <https://www.watertechonline.com/the-basics-of-activated-carbon-adsorption/>

NVRC. 2007. Maintaining Stormwater Systems [viitattu 5.12.2018]. Saatavissa: <http://www.novaregion.org/DocumentCenter/View/1675/MaintainingYourStormwaterSystem-2007?bidId=>

- Oppi. 2018. Molekyylien väliset vuorovaikutukset, 1.13 [viitattu 6.12.2018]. Saatavissa: <http://www.oppi.uef.fi/wanda/users/tanevala/KPF2/www/1-13-vuorovaikutukset.htm>
- Peda. 2018. Kaupungistuminen [viitattu 26.11.2018]. Saatavissa: <https://peda.net/oppimateriaalit/e-oppi/lukiot/oulainen/oulaisten-lukio/maantiede2/ops-2003/m2o/tellus2-1501153/4-kaupungistuminen>
- Pitcher, S. 2004. Heavy metal removal from motorway stormwater using zeolites [viitattu 14.12.2018]. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969704003717>
- PMC, Mohanasrinivasan, V., Mishra, M., Paliwal, J., Sing, S., Selvarajan, E., Suganthi, V., Devi, C. 2014. Studies on heavy metal removal efficiency and antibacterial activity of chitosan prepared from shrimp shell waste [viitattu 17.12.2018]. Saatavissa: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3964254/>
- Motiva Oy. 2003. Päästöjen kulkeutuminen [viitattu 27.11.2018]. Saatavissa: <http://elearn.ncp.fi/materiaali/kainulainens/energiaverkko/ilmastonmuutos/kulkeutuminen.htm>
- Potgieter, J, Potgieter-Vermaak, S., Kalibantonga, P. 2006. Heavy metals removal from solution by palygorskite clay [viitattu 14.12.2018]. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0892687505002463>
- Salo, T. 2013. Pientaloalueen hulevesijärjestelmät [viitattu 18.12.2018]. Saatavissa: <https://docplayer.fi/45592199-Pientaloalueen-hulevesijarjestelmat.html>
- Sarvilinna, A. & Sammalkorpi, I. 2010. Rehevöityneen järven kunnostus ja hoito [viitattu 18.10.2018]. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38819/YO\\_2010\\_Rehevoityneen\\_jarven\\_kunnostus\\_ja\\_hoito.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38819/YO_2010_Rehevoityneen_jarven_kunnostus_ja_hoito.pdf?sequence=1)
- Sibelco. 2014. Olivine Environmental Aspects [viitattu 17.12.2018]. Saatavissa: <https://www.koega.dk/~media/Files/Pdf/Byr%C3%A5d%20og%20udvalg/H%C3%B8ringer/Milj%C3%B8afg%C3%B8relser/2017/Jordrens%20K%C3%B8ge/Bilag%20Olivin%20Blueguard%20teknik%20og%20anvendelsesmuligheder.ashx>
- Siisti piha. 2018. Vesikouru kevyt [viitattu 28.11.2018]. Saatavissa: <https://www.siistipiha.fi/vesikourut-ja-kupit/vesikouru-kevyt>
- Stormwater360. 2018. StormFilter [viitattu 4.12.2018]. Saatavissa: <http://www.stormwater360.co.nz/products/stormwater-management/filtration/prod/stormfilter>

- Suomen asuntomessut. 2015. Helsingille viherkattolinjaus [viitattu 3.12.2018]. Saatavissa: <http://asuntomessut.fi/viherpintaa-syvemmalta/2015/11/30/helsingille-viherkattolinjaus/>
- SWCD. 2018. Rain Garden [viitattu 4.12.2018]. Saatavissa: <http://vaswcd.org/rain-garden>
- Tangahu, B., Abdullah, S., Basri, H., Idris, H., Anuar, N., Mukhlisin, M. 2011. A Review on Heavy Metals (As, Pb and Hg) Uptake by plants through Phytoremediation [viitattu 28.12.2018]. Saatavissa: <https://www.hindawi.com/journals/ijce/2011/939161/>
- Takainen, H. 2013. Jätevoimalan tuhkien loppusijoitusvaihtoehdot [viitattu 27.12.2018]. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/56290/Jatevoimalan\\_tuhkien\\_loppusijoitusvaihtoehdot.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/56290/Jatevoimalan_tuhkien_loppusijoitusvaihtoehdot.pdf?sequence=1)
- Taty-Costodes, V. 2003. Removal of Cd(II) and Pb(II) ions, from aqueous solutions, by adsorption onto sawdust of Pinus sylvestris [viitattu 14.12.2018]. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389403002851>
- Täljemark, K. 2004. Heavy metal and PAH sorption by pine bark. Battelle Press.
- Uponor. 2012. Uponor-hulevesikasetit ja -tunnelit [viitattu 3.12.2018]. Saatavissa: <https://www.uponor.fi/UponorInternet/DirectDownload?did=8900E2C315E145DB9B6E6E71C3C03465>
- Uuramo, K. 2018. Hulevesiselvitys [viitattu 3.12.2018]. Saatavissa: [https://www.nokian-kaupunki.fi/wp-content/uploads/2018/09/Nansotalo\\_Hulevesiselvitys.pdf](https://www.nokian-kaupunki.fi/wp-content/uploads/2018/09/Nansotalo_Hulevesiselvitys.pdf)
- Valtanen, M., Sillanpää, N., Hättinen, N., Setälä, H. 2010. Hulevesien imeyttäminen ja suodattaminen: haitta-aineet ja menetelmät [viitattu 13.12.2018]. Saatavissa: [file:///C:/Users/ari-p/Downloads/HY\\_kirjallisuusselvitys2010\\_valmis.pdf](file:///C:/Users/ari-p/Downloads/HY_kirjallisuusselvitys2010_valmis.pdf)
- Vuores. 2016. Tampereen kaupunki sai 1,44 miljoonaa euroa hulevesien hallinnan kehittämiseen [viitattu 30.11.2018]. Saatavissa: <https://vuores.fi/ajankohtaista/uutiset/517-tampereen-kaupunki-sai-1-44-miljoonaa-euroa-hulevesien-hallinnan-kehittamiseen>
- Wium-Andersen, T. 2012. Sorption Media for Stormwater Treatment – A Laboratory Evaluation of Five Low-Cost Media for Their Ability to Remove Metals and Phosphorus from Artificial Stormwater [viitattu 14.12.2018]. Saatavissa: [https://www.researchgate.net/publication/230643092\\_Sorption\\_Media\\_for\\_Stormwater\\_Treatment-A\\_Laboratory\\_Evaluation\\_of\\_Five\\_Low-Cost\\_Media\\_for\\_Their\\_Ability\\_to\\_Remove\\_Metals\\_and\\_Phosphorus\\_from\\_Artificial\\_Stormwater](https://www.researchgate.net/publication/230643092_Sorption_Media_for_Stormwater_Treatment-A_Laboratory_Evaluation_of_Five_Low-Cost_Media_for_Their_Ability_to_Remove_Metals_and_Phosphorus_from_Artificial_Stormwater)
- Wu, P. & Zhou, Y. 2009. Simultaneous removal of coexistent heavy metals from simulated urban stormwater using four sorbents: A porous iron sorbent and its mixtures with zeolite

and crystal gravel [viitattu 14.12.2018]. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389409002751>

Ymparisto. 2014. Öljyn käyttäytyminen maaperässä [viitattu 4.12.2018]. Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Oljy\\_ ja\\_ kemikaalivahinkojen\\_ torjunta/Oljyvahinkojen\\_ torjunta\\_ maaalueilla/Oljyn\\_ kayttaytyminen\\_ maaperassa](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Oljy_ ja_ kemikaalivahinkojen_ torjunta/Oljyvahinkojen_ torjunta_ maaalueilla/Oljyn_ kayttaytyminen_ maaperassa)

Ymparisto. 2018. Routa Hämeen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen alueella 2017-2018 [viitattu 27.11.2018]. Saatavissa: <http://wwwi3.ymparisto.fi/i3/kktiedote/FIN/2017/routa/HAM.htm>



## LIITTEET

## Liite 1 Raskasmetallien pidättäminen hulevesistä tuloksia (Farre, 2015, 39-41)

## "A" filter cassette – 13 l/min

		Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr
1	Pine Bark	30,0%	6,8%	5,0%	-5,1%	9,7%	31,4%
2	PUF (Coarse / Medium)	46,8%	3,5%	-0,4%	-2,2%	1,7%	16,0%
3	PUF (AC / Fine)	42,5%	2,6%	1,3%	-0,6%	1,6%	28,0%
4	PUF (AC / Medium)	-30,7%	38,5%	1,6%	1,3%	5,7%	-9,9%
5	Air blown PPE	21,7%	17,0%	3,2%	1,3%	13,8%	19,6%
6	PUF (AC / Coarse)	-147,6%	-7,3%	-0,3%	1,2%	1,7%	-29,9%
7	Recycled PU granulate	-3,6%	20,5%	-3,1%	-1,1%	4,1%	-31,0%
8	Bark/Chitosan	55,0%	34,1%	0,8%	-0,5%	5,4%	41,8%
9	PUF (Coarse) + NC (Nano-cellulose)	-39,8%	5,6%	-1,5%	1,2%	-3,2%	26,9%
10	Bark/Chitosan just sprayed	-41,4%	-12,5%	2,1%	3,3%	-3,2%	-133,3%
11	PUF (AC/ Fine/ Medium/ Coarse)	-123,6%	-30,2%	-5,9%	-13,4%	-2,6%	-74,1%
14	GFH + Recycled PU granulate	7,9%	13,4%	0,8%	-0,5%	-1,2%	15,6%
18	NC + PUF (Coarse) + Air blown PPE	-41,1%	3,7%	5,3%	1,5%	4,8%	-18,6%
19	Recycled PU powder	6,4%	-17,8%	13,4%	12,4%	11,0%	-20,8%

## "A" filter cassette – 60 l/min

		Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr
13	Pine Bark	15,5%	3,1%	-0,3%	0,8%	-2,2%	10,8%
15	Air blown PPE + PUF (AC)	-32,1%	-0,1%	12,2%	10,8%	14,6%	-40,2%
16	GFH	-15,7%	1,9%	3,4%	2,4%	8,1%	-30,8%
17	GFH + Recycled PU granulate	29,9%	45,3%	-2,1%	-0,7%	-3,4%	26,3%
20	PUF (AC / Medium)	84,4%	4,6%	3,0%	3,7%	7,0%	-85,1%

## "B" filter cassette – 13 l/min

		Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr
12	Pine Bark	-44,7%	14,5%	-0,9%	-1,8%	0,4%	-13,0%
21	Bark/Chitosan	-23,0%	-28,2%	-21,2%	-19,3%	-18,0%	3,0%
23	Pine bark + GFH	13,5%	15,5%	4,9%	-4,2%	10,7%	79,3%
27	Pine bark + Recycled PU granulate	-45,1%	1,3%	14,2%	5,8%	13,8%	-35,1%
29	Recycled PU granulate	19,7%	-3,3%	-2,4%	-2,1%	-0,5%	18,1%

## "A1" filter cassette – 60 l/min

		Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr
22	Pine Bark	-336,9%	-54,3%	-36,1%	-30,5%	-30,2%	-19,7%
24	PUF (AC / Fine)	-62,5%	-9,4%	0,8%	-3,0%	2,0%	-55,2%
25	Pine bark + GFH	34,8%	-3,3%	4,6%	5,8%	-0,4%	14,3%
26	Pine bark + Recycled PU granulate	24,5%	3,1%	-5,9%	-4,7%	-4,2%	30,2%
28	Recycled PU granulate	29,1%	7,5%	6,8%	6,5%	4,1%	14,7%
30	Pine bark + AC PUF	-21,0%	0,7%	-0,3%	1,0%	5,4%	-17,6%
31	Air blown PPE	14,6%	0,2%	12,4%	18,6%	14,4%	-13,7%
32	PUF (AC / Coarse)	7,4%	3,3%	3,4%	1,2%	2,6%	14,8%
33	PUF (Coarse / Medium)	13,9%	5,7%	3,9%	4,7%	2,2%	11,2%
34	PUF (Coarse) + NC (Nano-cellulose)	-36,8%	-6,5%	-0,9%	0,4%	-3,7%	-5,2%

## "C" filter cassette – 60 l/min

		Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr
35	Acitex round-flat filter	26%	37%	-17%	8%	-6%	8%
36	Acitex round-flat filter (Black layer)	-121%	17%	-32%	0%	-17%	-122%

## "A1" filter cassette – 9 l/min

		Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr
9	Peat	-30%	-15%	-26%	-26%	-27%	-49%
16	Pine Bark + Peat	41%	19%	3%	-1%	7%	10%
21	Absol + Peat	14%	32%	15%	12%	16%	18%

"A2" filter cassette – 3 l/min

		Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr
23	Pine Bark + Clay	-102%	-5%	-2%	-2%	-5%	-8%
24	Peat	82%	40%	19%	11%	13%	62%
25	Pine Bark + Pumice	57%	-57%	-86%	-77%	-76%	35%
26	Pine Bark + Peat	70%	24%	-3%	-8%	-4%	41%
27	Pine Bark + Peat + Clay	36%	125	6%	8%	9%	24%
29	Pine bark	-22%	-50%	-12%	-3%	-11%	-79%
31	Pine Bark and Chitosan	35%	27%	20%	20%	21%	16%
33	Peat and Chitosan	3%	-2%	-4%	-5%	-5%	1%

"B" filter cassette – 3 l/min

		Pb	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr
30	Pine bark	-	-	-	-	-	-
32	Pine Bark and Chitosan	56%	22%	12%	13%	11%	21%

Liite 2 Raskasmetallien pidättäminen moottoriteiden hulevesistä tuloksia (Luz, 2014, 56-70)

	Copper removal (%)	Lead removal (%)	Nickel removal (%)	Zinc removal (%)	pH	Conductivity (µS/cm)
Bottom ash	83.0 – 95.3	99.8 – 100	99.9 – 100	100	10.0 – 10.3	2,200 – 2,300
Bottom ash + sand	97.0 – 99.4	99.0 – 99.6	97.5 – 99.9	100	9.7 – 10.0	602 – 708
Fly ash	96.4 – 99.5	-357 – -23.0	100	81.2 – 96.2	12.0 – 12.2	25,800 - 30,200
Fly ash + sand	99.5 – 99.8	-92.1 – 54.3	100	88.1 – 97.7	11.3 – 11.5	4,880 – 5,400

	Copper removal (%)	Lead removal (%)	Nickel removal (%)	Zinc removal (%)	pH	Conductivity (µS/cm)
Kaolinite + sand	70.4 – 96.2	69.8 – 99.0	36.8 – 69.5	33.4 – 73.9	6.2 – 6.6	46.5 – 133.8
Molecular sieve	89.5 – 98.6	86.5 – 99.3	67.5 – 98.8	74.8 – 98.4	11.1 – 11.2	1,682 – 2,420
Montmorillonite + sand	62.3 – 84.6	82.9 – 94.0	57.9 – 80.4	57.8 – 78.6	3.9 – 4.2	71.5 – 173.8

	Copper removal (%)	Lead removal (%)	Nickel removal (%)	Zinc removal (%)	pH	Conductivity (µS/cm)
Blueguard ® 63	100	99.9 – 100	99.6 – 99.9	99.8 – 100	9.4 – 9.7	280 - 323
Blueguard ® 63 + sand	99.8 – 99.9	99.3 – 99.8	62.1 – 99.2	83.2 – 99.5	7.2 – 9.2	99.0 – 162.5
Blueguard ® 120	100	99.9 – 100	96.0 – 99.9	99.7 – 100	8.7 – 9.8	158.6 – 230
Blueguard ® 120 + sand	97.7 – 99.7	96.0 – 99.7	49.0 – 88.5	56.3 – 94.5	7.0 – 7.8	53.3 – 148.0
Blueguard ® G1-3	97.2 – 98.2	97.4 – 98.5	100	99.1 – 99.4	11.7 – 11.8	1,580 – 1,723
Blueguard ® G1-3 + sand	98.6 – 99.9	97.6 – 99.2	99.3 – 100	97.9 – 99.8	9.5 – 10.9	150.3 – 193.0

	Copper removal (%)	Lead removal (%)	Nickel removal (%)	Zinc removal (%)	pH	Conductivity (µS/cm)
Pine bark	96.6 – 97.1	99.1 – 99.5	94.7 – 96.5	93.8 – 94.7	4.2 – 4.5	255 – 415
Spruce/pine bark	98.6 – 99.9	99.4 – 99.9	95.0 – 99.5	91.0 – 94.7	5.2 – 5.3	1,535 – 1,941
Sea weed	75.9 – 80.8	92.1 – 96.1	55.2 – 67.0	29.8 – 60.7	6.4 – 6.5	4,970 – 8,100
Saw dust	68.5 – 81.2	98.8 – 99.1	76.8 – 79.5	80.5 – 86.6	4.9 – 5.0	233 – 290

	Copper removal (%)	Lead removal (%)	Nickel removal (%)	Zinc removal (%)	pH	Conductivity (µS/cm)
Aluminum oxide + sand	80.6 – 93.1	87.7 – 96.9	29.4 – 61.1	33.3 – 65.3	6.6 – 7.3	79.6 – 146.9
GAC	99.7 – 99.9	99.9	99.9 – 100	99.2 – 99.8	10.0 – 10.1	44.4 – 102.4
Iron (III) oxide + sand	80.1 – 98.5	97.6 – 99.9	27.8 – 59.1	27.2 – 62.5	6.2 – 6.5	48.9 – 143.1

Liite 3 Viiden parhaan materiaalin hinta-arvio (Sigma Aldrich, Axon Miljöteknik & Nordicgarden 2019)

Materiaali	Myyjä	Hinta-arvio
Blueguard® 63	Sibelco	-
Rakeinen aktiivihiili	Sigma Aldrich	100 e/kg
Kuusen- ja männynkaarna	Nordicgarden	14-20 e/m <sup>3</sup>
Keinotekoinen zeoliitti	Sigma Aldrich	130-170 e/kg
Turve	Axon Miljöteknik	1 e/l